

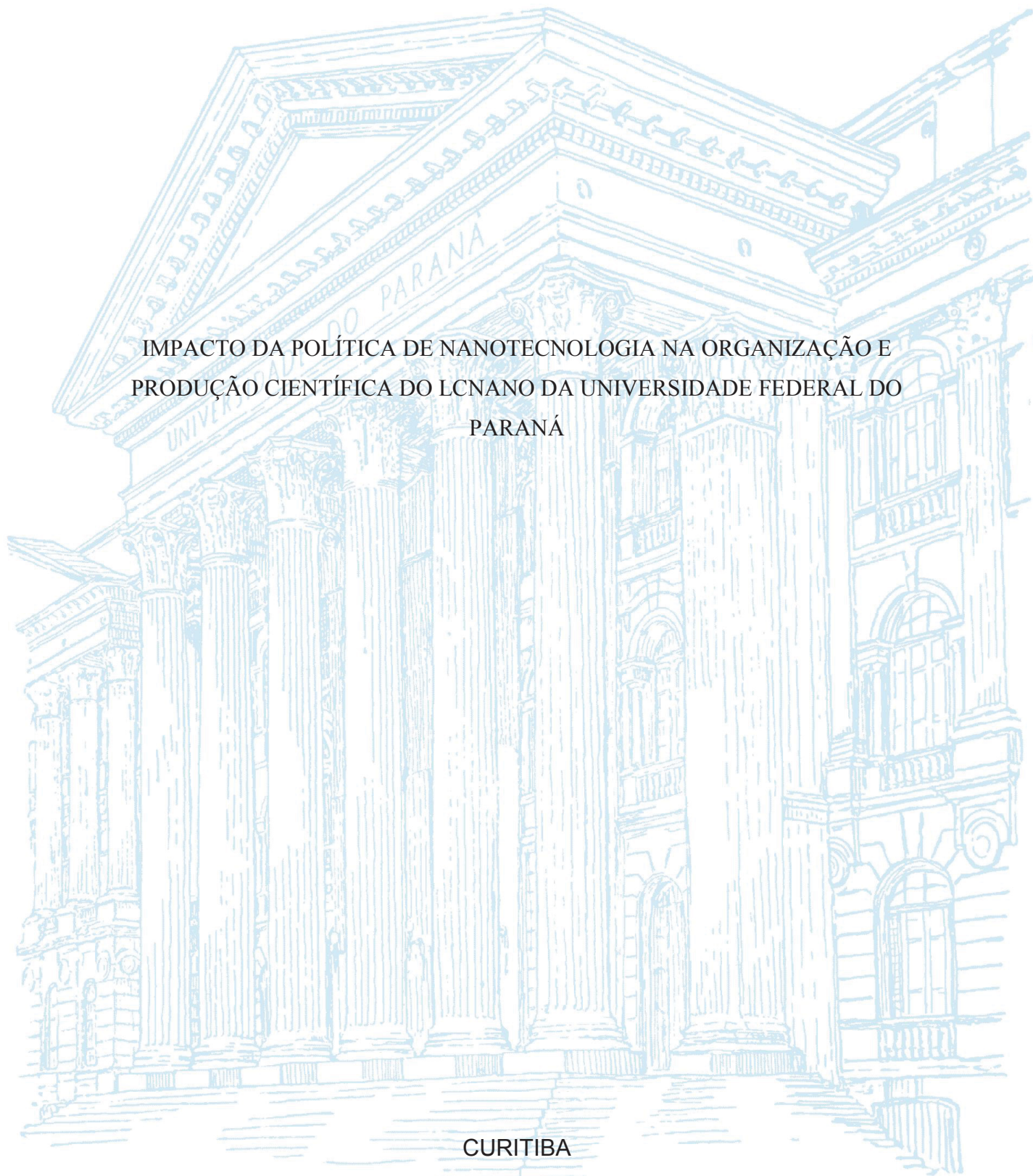
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSE HENRIQUE FERREIRA PINTO

IMPACTO DA POLÍTICA DE NANOTECNOLOGIA NA ORGANIZAÇÃO E
PRODUÇÃO CIENTÍFICA DO LCNANO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARANÁ

CURITIBA

2019



JOSE HENRIQUE FERREIRA PINTO

IMPACTO DA POLÍTICA DE NANOTECNOLOGIA NA ORGANIZAÇÃO E
PRODUÇÃO CIENTÍFICA DO LCNANO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARANÁ

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em Políticas
Públicas no Programa de Pós-Graduação em
Políticas Públicas, Setor de Ciências Sociais
Aplicadas, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Noela Invernizzi
Castillo

CURITIBA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS
APLICADAS – SIBI/UFPR COM DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)
Bibliotecário: Eduardo Silveira – CRB 9/1921

Pinto, Jose Henrique Ferreira

Impacto da política de nanotecnologia na organização e produção científica do Lcnano da Universidade Federal do Paraná / Jose Henrique Ferreira Pinto. – 2019.

217 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas.

Orientadora: Noela Invernizzi Castilho.

Defesa: Curitiba, 2019.

1. Políticas Públicas. 2. Nanotecnologia. 3. Produção científica. I. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas. II. Castilho, Noela Invernizzi. III. Título.


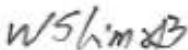


CDD 620.5098162

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em POLÍTICAS PÚBLICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Tese de Doutorado de **JOSE HENRIQUE FERREIRA PINTO**, intitulada: **IMPACTO DA POLÍTICA DE NANOTECNOLOGIA NA ORGANIZAÇÃO E PRODUÇÃO CIENTÍFICA DO LCNANO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de Doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 27 de Maio de 2019.


NOELA INVERNIZZI CASTILLO
Presidente da Banca Examinadora
WALTER TADAHIRO SHIMA
Avaliador Interno (UFPR)
GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ
Avaliador Externo (UFPR)
ANA PATRICIA DE OLIVEIRA MORALES VILHA
Avaliador Externo (UFABC)
MARCOS PAULO FUCK
Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas, direta ou indiretamente, contribuíram de várias formas ao longo de toda a jornada que até aqui me conduziu. A todos vocês, familiares e amigos, meus sinceros agradecimentos pelo apoio, incentivo e generosidade durante todo este processo.

À minha orientadora professora Noela Invernizzi, minha especial deferência por sua atenção e interesse no meu trabalho, pois além da confiança sempre depositada em mim, soube proporcionar boas doses de inspiração e sempre me instigou o desafio de ir mais além.

Aos demais professores da banca pelas sugestões e disponibilidade para ajuda sempre que necessário. Em especial meus agradecimentos à professora Graciela Inês Bolzon de Muniz pelo apoio com a universidade e o laboratório e por sua grande dedicação com as questões da nanotecnologia na UFPR.

A todos os professores que sabiamente me conduziram, antes e ao longo deste trabalho, com seus ensinamentos, comentários e valorosas sugestões.

Aos colegas e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas da Universidade Federal do Paraná, pela consideração e apoio recebidos. Em particular meus agradecimentos para as colegas de doutorado Leticia Rodrigues da Silva e Josemari Poerschke de Quevedo pelo constante incentivo e amizade.

Aos meus colegas e amigos da equipe SIGA/UFPR que de forma exemplar souberam manter o equilíbrio de nossas atividades profissionais e também por suas importantes contribuições técnicas e científicas.

A todos os pesquisadores entrevistados, muito obrigado pelo tempo e paciência.

Sincero e respeitoso agradecimento a tod@s!

RESUMO

O desenvolvimento das Nanociências e Nanotecnologias (N&N) no Brasil foi direcionado pela percepção de sua importância econômica no futuro. No Brasil, em virtude dos desafios de novas fronteiras da ciência, em 2012, foi criado o Sistema Nacional de Nanotecnologia – (SisNANO), seguindo os lineamentos da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, formulada nesse mesmo ano. Trata-se de uma rede de laboratórios de universidades e institutos de pesquisa da esfera federal, para pesquisa e desenvolvimento em várias áreas da nanotecnologia (NT). Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), foi criado o Laboratório Central de Nanotecnologia – LCNano, como instituição de participação da UFPR no SisNANO. Este trabalho analisa a trajetória do LCNano como executor da política de nanotecnologia na UFPR, à luz dos objetivos do SisNANO, e se esta impactou na criação de uma nova organização de rede e cooperação capaz de influenciar a produção científica em NT a partir da aplicação desta política. A pesquisa e inovação é vista no cenário de novo paradigma tecnológico, abordando os paradigmas técnico-econômicos da inovação, incluindo a relação universidade-empresa e a reorganização da pesquisa no Brasil. As análises sobre a produção científica dos pesquisadores integrantes do LCNano foram realizadas utilizando-se abordagem com técnicas de mineração de textos com o *Software R* com a aplicação do modelo de tópicos. Da amostra da produção científica selecionada, parte-se da análise de palavras, *tokens*, *n-grams* com o estudo da frequência e correlação para determinar a emergência de tópicos em nanotecnologia que possam ter sido influenciados pelo LCNano em decorrência da política do SisNANO. Os resultados indicam que o LCNano atingiu as metas previstas na política do SisNANO e sugerem que o laboratório foi capaz de reordenar a pesquisa em torno da NT com as características da emergência de um *hub* tecnológico.

Palavras-chave: Políticas Públicas; Ciência, Tecnologia e Inovação; Nanotecnologia.

ABSTRACT

The development of Nanosciences and Nanotechnologies (N & N) in Brazil was driven by the perception of their importance in the competitive environment in the future. In Brazil, due to the challenges of the new frontiers of science, in 2012, the National System of Nanotechnology - (SisNANO) was created, a network of laboratories of universities and research institutes of the federal sphere, for research and development in several areas of nanotechnology (NT). At the Federal University of Paraná (UFPR), the Central Nanotechnology Laboratory (LCNano) was created as the UFPR participation institution at SisNANO. This work analyzes the trajectory of the LCNano as executor of the nanotechnology policy in UFPR, based on SisNANO goals, and if this has impacted in the creation of a new logic of network and cooperation capable of influencing the scientific production in NT from the application of this politics. Research and innovation is seen in the scenario of a new technological paradigm, addressing the technical-economic paradigms of innovation, including the university-enterprise relationship and the reorganization of research in Brazil. The analyzes on the scientific production of LCNano researchers were be carried out using an approach with techniques of text mining with Software R with the topic template application. From the selected scientific output sample, we start with the analysis of words, tokens, n-grams with the study of frequency and correlation to determine the emergence of topics in nanotechnology that may have been influenced by LCNano as a result of the SisNANO policy. The results indicate that the LCNano reached the goals set in the policy of SisNANO and suggests that the laboratory was able to reorder the research around NT with the characteristics of the emergence of a technological hub.

Keywords: Public Policies; Science, Technology and Innovation; Nanotechnology.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABE	Associação Brasileira de Ensino
ACP	Associação Comercial do Paraná
ACT	Acordos para a Comercialização Tecnológica
AGITEC	Agência de Inovação Tecnológica da UFPR
AL	América Latina
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APS	American Physics Society
BioPol	Laboratório de Biotecnologia em Polissacarídeos
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
C&T	Ciência e Tecnologia
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBAN	Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia
CBC-Nano	Nano Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia
CCT	Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática
CDIM	Centro de Desenvolvimento e Inovação de Materiais e Biomateriais
CEPPA	Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO
CGEE	Centro Gestão e Estudos Estratégicos
CGTC	Coordenação Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras
CHTC	Capital Humano Técnico e Científico
CIN	Comitê Internacional de Nano
CME	Centro de Microscopia Eletrônica
CNBA	Canada Nanobusiness Alliance
CNCTI	Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPE	Coordenação de Pesquisa da UFPR
CSTP	Comitê de Política Científica e Tecnologia
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
CT-Petro	Fundo setorial de Petróleo e gás natural
DGP	Diretório de Grupo de Pesquisa
DOI	Digital Object Identifiers
ELSI	Ethical, Legal and Social Implications
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCTI	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
EOU	Empresas Oriundas das Universidades
EPO	European Patent Office
EU	European Union
EUA	Estados Unidos da América

FCN	Fórum de Competitividade em Nano
FDA	Food and Drug Administration
FEET	Fator Emergente de Exploração de Tecnologia
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FUNDEP	Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa
FUNTEC	Fundo de Desenvolvimento Técnico Científico
GPMI	Laboratório do Grupo de Pesquisa em Macromoléculas e Interfaces
GPTESD	Grupo de Pesquisa em Tecnologias Emergentes em Sociedades e Desenvolvimento
GQM	Grupo de Química de Materiais
IBN	Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
IES	Instituição de Ensino Superior
INCT	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INN	Iniciativa Nacional de Nanotecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet of Things
IPP	Instituições de Pesquisa Pública
IRGC	International Risk Governance Council
ISI	Instituto Senai de Inovação
ISO	International Organization for Standardization
JPO	Japan Patent Office
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LANAQM	Laboratório de Celulose e Papel e de Anatomia e Qualidade da Madeira
LANSEN	Laboratório de Nanoestruturas para Sensores
LAQMA	Laboratório de Química de Materiais Avançados
LCNano	Laboratório Central de Nanotecnologia
LDNANO	Laboratório de Dispositivos Nanoestruturados
LDPN	Lei de Desenvolvimento e Pesquisa de Nanotecnologia
LGQM	Laboratório Grupo de Química de Materiais
LNDS	Laboratório Núcleo de Design & Sustentabilidade
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Sincrotron
LPDN	Lei de Desenvolvimento e Pesquisa de Nanotecnologia
LQCV	Laboratório de Química de Carboidratos Vegetais
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC	Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul

MFA	Ministério da Fazenda
MP	Ministério do Planejamento
MPE	Micro e Pequenas Empresas
MQE	Caracterização Morfológica, Química e Estrutural
MRE	Ministério das Relações Exteriores
N&N	Nanociência e Nanotecnologia
NANOBIOTEC	Rede de Nanobiotecnologia
NANOMAT	Rede de Materiais Nanoestruturados
NanoReg-EU	Projeto de Regulação em NT da União Europeia
NANOSEMIMAT	Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados
NAS	Nanotecnologia Aplicada a Saúde
NBA	Nanobiotecnologia Aplicada
NC	Nanocentros
NDM	Nanociências no Desenvolvimento de Materiais
NSF	National Science Foundation
NSTC	National Science and Technology Council
NT	Nanotecnologia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
ONG	Organização Não-Governamental
OPTI	Observatório de Prospectiva Tecnológica Industrial
OPV	Organic Photovoltaic
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PACE	Programa de Apoio ao Comércio Exterior
PADCT	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
PAG	Plano de Ação Governamental
PBDCT	Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
PBPQ	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade
PCT	Políticas de Ciência e Tecnologia
PCTI	Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDN&N	Programa de Desenvolvimento de Nanociência e Nanotecnologia
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
PED	Países em Desenvolvimento
PFAB	Caracterização das Propriedades Físicas e Atividades Biológicas
PIB	Produto Interno Bruto
PID	Programa de Inclusão Digital
PINTEC	Pesquisa de Inovação
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PLA	Programa de Laboratório Aberto
PLC	Programmable Logic Controllers

PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PND-NR	Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República
PNN	Programa Nacional de Nanotecnologia
PNPG	Plano Nacional de Pós-Graduação
PRPPG	Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPR
RECAP	Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras
REPES	Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação
RH	Recursos Humanos
RT	Revolução Tecnológica
RUE	Relação Universidade-Empresa
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SESI	Serviço Social da Indústria
SETEC	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
SIBRATEC	Sistema Brasileiro de Tecnologia
SisNANO	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
SNDCT	Sistema Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
SNI	Sistema Nacional de Inovação
SSI	Sistema Setorial de Inovação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
TT	Transferência de Tecnologia
UF	Unidades da Federação
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UK	United Kingdom
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USPTO	United States Patent and Trademark Office
VTT	Technical Research Centre of Finland

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativas Teórico-empíricas	14
1.2 Contribuições Teórico-empíricas	17
1.4 Estrutura do trabalho.....	18
2. NANOTECNOLOGIA: POLÍTICAS PARA ESTIMULAR UMA TECNOLOGIA EMERGENTE NO BRASIL	20
2.1 Breve contexto para o estímulo da NT	20
2.2 Emergência da Nanotecnologia	22
2.3 Breve Histórico das Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil.....	29
2.4 Emergência mundial das políticas de Nanotecnologia	36
2.5 A política de Nanotecnologia no Brasil	40
2.5.1 Antecedentes.....	40
2.5.2 A Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia e o Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia.....	47
2.5.3 Investimentos nacionais em NT	65
2.5.4 Resultados alcançados.....	68
2.5.5 Limitações e desafios	72
3. PESQUISA E INOVAÇÃO NO CENÁRIO DO NOVO PARADIGMA TECNOLOÓGICO	75
3.1 Inovação	75
3.2 Paradigmas técnico-econômicos da inovação	79
3.3 A relação Universidade-Empresa.....	83
3.4 Laboratórios e Inovação.....	92
3.5 Redes e a reorganização da pesquisa pública no Brasil.....	95
4. A IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE NANOTECNOLOGIA.....	103
4.1 Materiais e métodos	103
4.1.1 Fontes de dados.....	103
4.2 Metodologia.....	107
4.2.1 Obtenção e avaliação dos materiais referentes à infraestrutura e investimentos relacionados ao LCNano.....	107
4.3 A constituição do LCNano.....	108
4.4 Identificação dos grupos de pesquisa e redes	114
4.5 Descrição da infraestrutura dos laboratórios.....	125

5. O LABORATÓRIO CENTRAL DE NANOTECNOLOGIA COMO <i>HUB</i> TECNOLÓGICO - RESULTADOS	140
5.1 Metodologia.....	140
5.1.1 Obtenção dos dados das redes de colaborações e produções científicas.....	141
5.1.2 Pré-processamento e organização dos dados.....	141
5.1.3 Análise exploratória dos dados com construção de visualizações e modelos de inferência.....	142
5.2 Resultados.....	145
5.2.1 Primeira fase: análise documental dos relatórios sobre infraestrutura e investimentos do LCNano e entrevistas com pesquisadores	145
5.2.1.1 Mapa de competências.....	149
5.2.1.2 Relações com as Empresas.....	152
5.2.1.3 Transferência de tecnologia e comercialização	156
5.2.2 Segunda fase: análise exploratória dos dados de redes de colaboração e produções científicas.....	158
5.2.2.1 Análise sobre os títulos e palavras-chave.....	158
5.2.2.2 Análise sobre os resumos e textos completos das publicações.....	166
5.2.2.3 Análise sobre as redes de colaboração	176
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	187
REFERÊNCIAS.....	196
ANEXO I – FIGURAS AMPLIADAS	213

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia (NT) é uma plataforma tecnológica transversal¹ que já está causando um grande efeito nos amplos setores da sociedade como a ciência, a economia e a saúde. Propõe-se que, no cenário atual, vivenciamos uma transição para uma próxima revolução industrial impulsionada pela manufatura avançada que poderá ter como base a NT e a síntese molecular, pelo seu alto potencial em proporcionar soluções aos desafios globais como o desenvolvimento de fontes sustentáveis e renováveis de energia, o controle ambiental e inovadores métodos de diagnóstico e monitoramento remoto para o setor de saúde (ROCO et al, 2014). É neste contexto que emerge o conceito das novas fábricas inteligentes integrando tecnologias como: Internet das Coisas (IoT), big data, sistemas cyber-físicos, entre outros. A implantação deste conceito fabril depende da integração da informação através de sistemas inteligentes, onde as máquinas têm capacidade de se comunicar com as outras e a informação é disseminada de maneira completa, universo este de domínio da NT. (JORDAN, KAISER e MOORE, 2012; IBN, 2012). Desde os anos 2000 a NT tem sido incorporada como área estratégica das políticas de ciência, tecnologia e inovação (PCTI) tanto nos países industrializados como nos emergentes e em desenvolvimento, como o Brasil. A criação de infraestrutura de pesquisa foi um dos eixos dessas políticas, uma vez que equipamentos de última geração são imprescindíveis para a pesquisa na área.

Nesse contexto, foi concebido em 2012 o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), uma rede de laboratórios para a pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em nanociências e nanotecnologias na conjuntura da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN). A sua lógica estratégica baseia-se na inovação apoiada em conhecimento, aprendizado e cooperação (MALERBA, 2004). Prioriza a relação universidade-empresa com o caráter multiusuário e de acesso aberto das instalações, e a formação de redes de inovação. Como a NT de forma geral, toda sua estrutura, mecanismos e incentivos são interdisciplinares e com um viés de convergência científica, o que sugere iniciativas para emergir um sistema de inovação ao redor desta tecnologia de natureza transversal.

¹ Transversal – aplicado à nanotecnologia no sentido de apresentar as características de tecnologia de propósito geral, aliando tanto o caráter pervasivo quanto de dispersão da inovação subsequente impulsionando a expansão da fronteira tecnológica. Com uma natureza versátil e interdisciplinar combina todas as tecnologias de bases clássicas, com perspectiva de alterações revolucionárias da vida, do trabalho e da percepção da realidade da humanidade em todos os níveis. (KREUCHAFF e TEICHERT, 2014).

O Laboratório Central de Nanotecnologia (LCNano), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) é um dos 18 laboratórios regionais associados ao Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), em uma rede que conta com outros oito laboratórios considerados estratégicos e de âmbito federal. De importância estratégica não só para a UFPR, mas para toda a região, o LCNano apresenta um modelo multiusuário, integrado e participativo, que agrega a comunidade científica da UFPR envolvida com Nanociências e Nanotecnologia (N&N) em torno da gestão, operação e utilização do Laboratório. Tem a missão de estabelecer na UFPR um centro de excelência em N&N. Esse movimento convergente da pesquisa e colaboração em torno da NT, induzido pelo LCNano a partir de 2012, tem o potencial de estabelecer uma nova ordem e reconfigurar a dinâmica da pesquisa na UFPR tanto para a NT, especificamente, quanto para as demais áreas de conhecimento que integram os vários laboratórios e centros de pesquisa constituintes do LCNano. Maior cooperação, compartilhamento de infraestrutura de pesquisa e novas relações universidade-empresa, podem colaborar para a inovação e difusão tecnológica da NT e as demais áreas científicas correlatas, podendo ainda conduzir o LCNano para uma posição de *Hub* tecnológico na UFPR. Entendemos por “*Hub*” a referência na linguagem tecnológica a uma parte central de uma rede que recebe sinais e os retransmite para todas os demais nodos da rede. Também é aplicado para definir ambientes propícios a darem acesso e gerar oportunidades de conexão entre pessoas onde elas possam trabalhar juntas, trocarem informações e criarem, em um movimento sinérgico de transformação com maior amplitude e escopo do conhecimento.

Nesse contexto esta tese visa avaliar o impacto do LCNano considerando a criação e arranjo da infraestrutura como aspecto nevrálgico da política de nanotecnologia na dinâmica de produção científica e de inovação em NT na UFPR. O objetivo geral da tese é o de investigar em que medida a UFPR incorporou as metas contidas na IBN para a implementação do SisNANO e avaliar se o LCNano contribuiu a criar uma nova ordem de pesquisa em rede capaz de influenciar a produção científica em NT, estimulada pelas características inter e multidisciplinares da NT apoiadas na relação universidade-empresa e na transferência de tecnologia.

Os objetivos específicos são: 1- descrever a política de nanotecnologia no Brasil, com ênfase para a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, e seu programa estratégico o SisNANO; 2- examinar a implementação do SisNANO na UFPR através da criação do LCNano; 3- investigar a produção científica do grupo de pesquisadores do LCNano no período de 2004-2011 e 2012-2019; 4- indagar a amplitude da relação universidade-

empresa, desenvolvida para cumprir a missão do LCNano e quais foram seus resultados; 5- inquirir se houve transferências de tecnologia; 6- avaliar se o LCNano atingiu as metas propostas pelo SisNANO na sua implementação na UFPR.

Justifica-se a escolha do tema para esta tese, dada a sua relevância no cenário da Ciência, Tecnologia e Inovação e no caráter estratégico atribuído à N&N na política científica, tecnológica e de inovação a partir de 2004.

Considerando a posição central e papel estruturante do LCNano na infraestrutura e cooperação para a NT na UFPR, formula-se as seguintes hipóteses:

H₁: Em função da convergência, interdisciplinaridade e multidisciplinaridade do LCNano, existe uma correlação positiva, ampliada, entre a produção científica e coautoria na pesquisa da UFPR nas áreas que integram o LCNano;

H₂: Esta ampliação da pesquisa em rede nos setores integrantes do LCNano tem as características da emergência de um *Hub* tecnológico para a UFPR;

Para validar ou refutar estas hipóteses, considera-se que:

- Em H₁, a inovação e difusão tecnológicas resultantes da pesquisa na UFPR têm sido estimuladas pela relação universidade-empresa (RUE) que, no contexto da NT, demanda a interação entre várias áreas científico-tecnológicas. Nesse sentido, as características e interações do LCNano como nodo de uma rede de inovação no contexto da RUE (vinculação com as empresas, P&D, consultoria, laboratórios compartilhados, coprodução) devem ser contempladas.
- Em H₂, o LCNano constituiu na UFPR um **ambiente favorável** à formação de **redes** de P&D e à produção científica em geral. Para tanto, os principais fatores responsáveis e a análise desta interferência serão considerados.

1.1 Justificativas Teórico-empíricas

As NT são tecnologias convergentes e habilitadoras que aliadas ao seu caráter multi e interdisciplinar tendem a promover um maior desenvolvimento tecnológico, com a capacidade de direcionar avanços tecnológicos disruptivos. Deriva disto a tendência de gerar um acelerado ciclo de desenvolvimento virtualmente a todos os campos de conhecimento. Transversal, disruptiva e pervasiva, possui a capacidade de revolucionar

produtos, processos e serviços, com inovações até pouco tempo inimagináveis (CGTC, 2017).

Fatores como a globalização, tratados de livre comércio e novas fronteiras tecnológicas estão entre os agentes desencadeadores de mudanças nos ambientes político, social e econômico dos países nos quais o desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias estão inseridas; neste contexto, a decisão estratégica de uma política pública voltada à infraestrutura de P&D em N&N e ao estímulo da relação universidade-empresa é questão relevante na busca de alternativas que incrementem a eficiência tanto nas universidades quanto nos modelos empresariais de empreendimentos que possibilitem a oferta de melhores produtos e serviços em nanotecnologias que estarão diretamente conectados às políticas de desenvolvimento dos países (WANG & SHAPIRA, 2009). Há que se constituir uma infraestrutura de base tecnológica para que a produção de NT seja economicamente viável.

O crescimento da produção e do mercado de NT no Brasil a partir de meados de 2000 e a perspectiva de destinação de parte desta produção para a exportação de produtos com alto valor agregado sinalizam para a importância das universidades e empresas participarem deste processo. A título de exemplificação, o mercado global de produtos de nanotecnologia foi de US\$ 22,9 bilhões em 2013 e aumentou para aproximadamente US\$ 26 bilhões em 2014. Com uma taxa de crescimento anual projetada para o período de 2014 a 2020 em torno de 20%, a expectativa é que esse mercado atinja cerca de US\$ 64,2 bilhões até 2019, sendo que o mercado brasileiro em NT pode atingir, nesse período, 1% do mercado global o que significa valores da ordem de até US\$ 6,4 bilhões (BCC, 2014).

O envolvimento do Estado, a regulamentação de leis específicas, fatores histórico-culturais de desenvolvimento, são alguns dos aspectos que impactam a produção científica e tecnológica. Por isso, sob a ótica da relação de interdependência entre o ambiente e a organização, é possível admitir que as eventuais escolhas estratégicas das universidades e suas relações com as empresas estão condicionadas à influência do ambiente sobre suas condições internas, podendo ser condicionantes para a inclusão das metas de uma política pública (DONALDSON, 2006).

Apesar do desafio da N&N para as universidades e empresas, da necessidade de reestruturação destas organizações imposta pelas mudanças na arena internacional para ampliar o desenvolvimento e inovação em NT e da importância estratégica da política pública do SisNANO e do papel articulador do LCNano para a UFPR para enfrentar este desafio, há poucos estudos sobre políticas de nanotecnologia no Brasil, e a implementação

e resultados de um dos seus programas mais relevantes, o SisNANO, ainda não foi objeto de estudos. Em pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), foram localizados apenas 14 artigos sobre políticas de nanotecnologia no Brasil no período de 2011-2017, e nenhum deles sobre o SisNANO ou LCNano. A pesquisa foi realizada com os descritores nano, nanotecnologia e políticas, e refinados para Brasil, SisNANO e LCNano (CAPES, 2018).

O desenvolvimento da NT ainda é uma questão complexa, pois sua abordagem inter e multidisciplinar também deve ser estendida às empresas, e não apenas para o setor acadêmico. Da mesma forma, os fatores como orçamento, investimentos e a falta de recursos humanos para desenvolver a nanotecnologia devem ser adicionados a esse aspecto. O fator econômico é especialmente preocupante, pois laboratórios de qualidade em NT exigem investimentos em equipamentos sofisticados, instalações e insumos, de caráter multiusuário. Essa especificidade aponta para a necessidade de novos modelos de organização de pesquisa, a fim de evitar que a alta tecnologia acabe se concentrando em empresas e instituições de pesquisa de maior porte, levando à exclusão das pequenas empresas, justamente onde o potencial de inovação tende a ser mais acentuado e precisa ser estimulado. Para isso, identificar laboratórios estratégicos nas redes e sua dinâmica de produção científica em NT, com o devido suporte, poderia oferecer subsídios para novas políticas na área, e estender o uso das facilidades conseguidas para os demais usuários, públicos e privados, evitando sua concentração em laboratórios específicos, isolados (CGEE, 2004).

Diante das amplas possibilidades para aplicação da nanotecnologia e das incertezas associadas a elas, verificamos uma lacuna de conhecimento com relação ao ambiente brasileiro nesse contexto. Portanto, este trabalho busca avaliar a incorporação das metas da política pública da IBN na implementação do SisNANO na UFPR, através do LCNano, para melhor compreender suas oportunidades e desafios.

O presente estudo poderá trazer contribuições acadêmicas quanto à ampliação no conhecimento sobre nanotecnologia e suas aplicações não somente do ponto de vista tecnológico, mas, também mercadológico. As contribuições práticas relacionam-se com a compreensão da evolução desse setor e da possibilidade de melhor interpretar suas possíveis trajetórias de desenvolvimento.

Os argumentos aqui apresentados, somados aos baixos índices de publicações acadêmicas sobre as políticas públicas em NT no Brasil, e em especial sobre o SisNANO, justificam a condução do estudo proposto.

Ao viabilizar conhecimento local pode-se colaborar com o aperfeiçoamento da adequação dos modelos de políticas públicas, contribuindo a emergir características que aludam uma dinâmica de negociação de estilos mais complexos e de maior competência distributiva, próprias das novas maneiras de produção de conhecimento (FACHONE e VELHO, 2014).

1.2 Contribuições Teórico-empíricas

Apesar da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) já afirmar que um dos resultados diretos de políticas de ciência e tecnologia (C&T) foi elevar as universidades a tornaram-se instituições de um mundo global, assumindo papéis internacionais além de seus tradicionais papéis locais e nacionais, não se pode esquecer que os desafios globais (energia, água e alimentos, segurança, urbanização, mudanças climáticas, dentre outros) são cada vez mais dependentes da inovação tecnológica e das diretrizes das políticas da área. O tema acaba se ampliando permitindo novas investigações como o resultado dessas políticas nas universidades e laboratórios específicos e suas relações com as empresas (UNESCO, 2015).

Assim sendo, a importância do estudo da incorporação das metas de políticas de NT e suas estratégias de desenvolvimento científico e resultados numa universidade federal se impõe pela própria dinâmica da inovação tecnológica e o papel central da relação universidade empresa nesse processo, trazendo a oportunidade de aprofundar conhecimentos acerca das oportunidades e desafios impostos pela NT.

Tendo em vista a escassez de investigações acerca do programa do SisNANO e, sobretudo o LCNano em particular, este estudo de caráter exploratório-descritivo tem, de maneira compreensiva, escopo duplo: (i) contribuir para a ampliação desse estoque de conhecimento e (ii) gerar subsídios para pesquisas subsequentes.

Espera-se dessa forma que a descrição do envolvimento do LCNano e da UFPR na implementação do SisNANO, para avançar a produção de conhecimento em NT e envolvendo a relação universidade-empresa com vistas ao desenvolvimento e transferência da NT ao setor produtivo, possa trazer as seguintes contribuições teóricas e práticas:

- Para os estudos de políticas públicas em C&T: ao investigar o envolvimento da UFPR e do LCNano com a dinâmica da produção de NT e com o mercado, os resultados da pesquisa podem trazer à tona especificidades nacionais – diferentes daquelas já

levantadas em estudos realizados em outros países, que facilitem a compreensão sobre as escolhas estratégicas do segmento a partir de suas condições internas. Novos relacionamentos entre variáveis podem contribuir para ampliar o conhecimento dos processos de transferência tecnológica que reflitam o contexto brasileiro das universidades e empresas com suas especificidades e singularidades.

- Para os estudos da inovação em NT: ao analisar o empreendimento do LCNano, podem ser dadas a conhecer com mais profundidade as dificuldades e restrições impostas pelas condições internas da universidade na construção da relação universidade-empresa. A distinção de tais aspectos pode subsidiar as ações de organismos e instituições voltadas para o fomento, desenvolvimento e fortalecimento das atividades das N&N no contexto nacional.

- Para a educação: o desenvolvimento deste estudo teórico-empírico pode contribuir para a formação de discentes interessados em atuar no segmento de desenvolvimento da NT, que apesar de carente de profissionais especializados, torna-se cada vez mais representativo na economia nacional e global.

- Para as empresas de base tecnológica: a partir de um panorama mais detalhado de análise que acolhe a produção tecnológica no nível atomizado do laboratório e sua interação universidade-empresa, podem ser identificadas situações de necessidades comuns para obtenção de treinamento específico com o intuito de superar adversidades e desenvolver práticas que viabilizem o planejamento e a adoção de novas alternativas estratégicas.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está composto de 6 seções iniciando com esta introdução seguida, na segunda seção, de uma abordagem sobre as políticas para estimular a emergência da nanotecnologia no Brasil, no contexto das políticas de ciência, tecnologia e inovação no país. A terceira seção trata da pesquisa e inovação no cenário do novo paradigma tecnológico da NT, abordando os novos paradigmas técnico-econômicos da inovação com a relação universidade-empresa resultantes de uma reorganização da pesquisa no Brasil ocorrida a partir das décadas de 1990. As seções 4 e 5 tratam da implementação do LCNano e de sua posição central como *Hub* tecnológico na UFPR e seus impactos. A seção 4 descreve o laboratório desde sua criação, suas facilidades e corpo científico. A

seção 5 apresenta a análise dos dados sobre a produção científica do laboratório e as ações resultantes da relação universidade-empresa, em atendimento aos objetivos programa do SisNANO. As análises sobre a produção científica dos pesquisadores integrantes do LCNano foram realizadas utilizando-se abordagem com técnicas de mineração de textos com o Software R com a aplicação do modelo de tópicos. A descrição do modelo de análise e processamento dos dados está descrito na subseção de materiais e métodos desta seção 5. As conclusões e considerações finais são apresentadas na seção 6 seguidas das referências.

2. NANOTECNOLOGIA: POLÍTICAS PARA ESTIMULAR UMA TECNOLOGIA EMERGENTE NO BRASIL

A NT, como as demais tecnologias quando emergem, pode ter impactos que a levem a atingir a maturidade e expansão no contexto socioeconômico mais rapidamente através de estímulos provocados por políticas a ela endereçadas. Este capítulo trata da evolução das Políticas de Ciência e Tecnologia no Brasil (PCT) até o surgimento de políticas específicas para a N&N. Inicia com a seção sobre as questões iniciais da emergência da NT no contexto global e no Brasil, seguida da seção que trata da emergência da NT. A terceira seção apresenta um breve histórico das políticas de Ciência e Tecnologia e Inovação no Brasil (PCTI). A quarta seção trata da emergência mundial das políticas de NT, e a quinta seção versa sobre a política de NT no Brasil, com seus antecedentes, a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia e o Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia, dos investimentos nacionais em NT e os resultados alcançados com suas limitações e desafios.

2.1 Breve contexto para o estímulo da NT

O Brasil iniciou ações para promover a NT desde o início da década de 2000. Entretanto, a possibilidade de desenvolver esta área emergente foi lastrada em ações bastante anteriores relacionadas à construção do sistema de PD&I do país. Nas décadas de 1960 a 1980, o Brasil adotou uma política sistemática com relação ao sistema nacional de C&T, visando o desenvolvimento de Recursos Humanos (RH) que promoveu maior capacidade de multiplicação com novos vínculos internacionais. Houve significativa melhora na infraestrutura de pesquisa nas universidades e instituições de pesquisa, bem como a criação de vários laboratórios e empresas públicas orientadas ao desenvolvimento de C&T com foco em problemas nacionais (Fiocruz, Embrapa, Petrobras). Os resultados obtidos dessas PCTI anteriores formam a base a partir da qual se desenvolve a política de NT. A partir do ano 2000 a organização em redes de pesquisa, com a criação das quatro primeiras redes em NT oriundos do Edital MCT/CNPq 01/2001, conectaram pesquisadores de várias regiões, otimizando uso compartilhado da infraestrutura e multiplicando recursos. Como resultado houve uma rápida ampliação na capacidade de pesquisa (recursos humanos, infraestrutura) e da produção científica em NT. Essa base dá ao Brasil vantagens sobre outros países em desenvolvimento (INVERNIZZI, 2011).

Nos anos seguintes foi implementada uma política nacional de CT&I, articulada com a política industrial. Com o advento da IBN e do SisNANO, foram investidos consideráveis recursos para a NT. Diversas agências do governo, como o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação (MCTI), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) somaram à execução da política, com investimentos para reequipar e modernizar laboratórios e financiar a criação de novos. Vários atores governamentais cooperaram em ações interministeriais articulando a política de NT com a política de desenvolvimento industrial do Brasil. Entretanto esse quadro de investimentos e ações do governo sofreu forte declínio a partir de 2014 (MCTIC, 2017).

Como resultado, em parte por não conseguir atingir grandes mudanças estruturais no seu sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), o Brasil manteve sua posição relativa nessa corrida tecnológica da NT (não avançou e não retrocedeu), enquanto outras economias emergentes de grande e médio porte, como a China e a Coreia do Sul, conseguiram obter uma maior escala de mudanças na sua estrutura de CT&I e ultrapassaram o Brasil, (DE NEGRI e LEMOS, 2009) que, contudo, atingiu posição de liderança em NT entre os países da América Latina e Caribe (INVERNIZZI, 2011).

No contexto global, a partir da década de 1990, o Japão, a China e os Estados Unidos foram os primeiros países a proporem políticas de NT que traziam o tema das questões regulatórias para uma nova governança em PD&I para a NT, entretanto não há iniciativas regulatórias para a NT em nenhum desses países. Já em 1990, o Japão anunciou seu compromisso formal com o financiamento da pesquisa em nanotecnologia e a China instituiu um plano nacional de longo prazo para a NT, o Projeto de Escalada de dez anos sobre ciência nanométrica, de 1990 a 1999. Nos EUA surge o primeiro programa federal de nanotecnologia através de financiamento da National Science Foundation (NSF) na síntese e processamento de nanopartículas. Em 1997 é fundado, em Londres, o Instituto de Nanotecnologia do Reino Unido, com o objetivo de fornecer uma base estratégica para decisões políticas, e diretrizes para o desenvolvimento responsável da NT. Em 1999 é criado nos EUA a National Science and Technology Council (NSTC) para coordenar as políticas científicas, espaciais e tecnológicas e para identificar as necessidades de pesquisa em nanotecnologia com a finalidade de melhorar as políticas federais para a NT. Essas cinco iniciativas foram as precursoras das ações governamentais dos países desenvolvidos quanto ao financiamento, desenvolvimento e aplicação da NT (CHARRIÈRE e DUNNING, 2014).

2.2 Emergência da Nanotecnologia

A nanotecnologia (NT) significa a capacidade de manipular os átomos na escala compreendida entre 0,1 e 100nm, com a finalidade de criar estruturas maiores com nova organização estrutural. (DURÁN, MATTOSO e DE MORAIS 2006). A alteração dessas estruturas cria materiais nunca imaginados pelo homem, mudando as maneiras de produção de empresas e de todos os setores da economia. Conforme Fortunato (2005), a NT é uma ciência multidisciplinar, pois integra profissionais de áreas, como: engenheiros eletrônicos, mecânicos e os investigadores médicos, trabalhando juntamente com os físicos, químicos e biólogos. A NT tem contribuído para a transformação do mundo da ciência e tecnologia colaborando para o desenvolvimento das indústrias e, sobretudo dos países.

Em um conceito mais amplo, a nanotecnologia não é só a manipulação de matéria em nanoescala, mas a pesquisa e desenvolvimento de materiais, dispositivos e sistemas com novas propriedades e desempenhos obtidos em virtude dessa dimensão ou dos componentes em nanoescala (FISHER, SELIN e WETMORE, 2011). Nesse sentido podemos descrever a nanotecnologia como atividade meio e fim ao mesmo tempo, surgindo como ferramentas nanocientíficas que apoiam o desenvolvimento de novos produtos, que por sua vez, também podem ser nanotecnologia dependendo da escala em que seus constituintes são materializados (SANTOS JUNIOR, 2013, p.29).

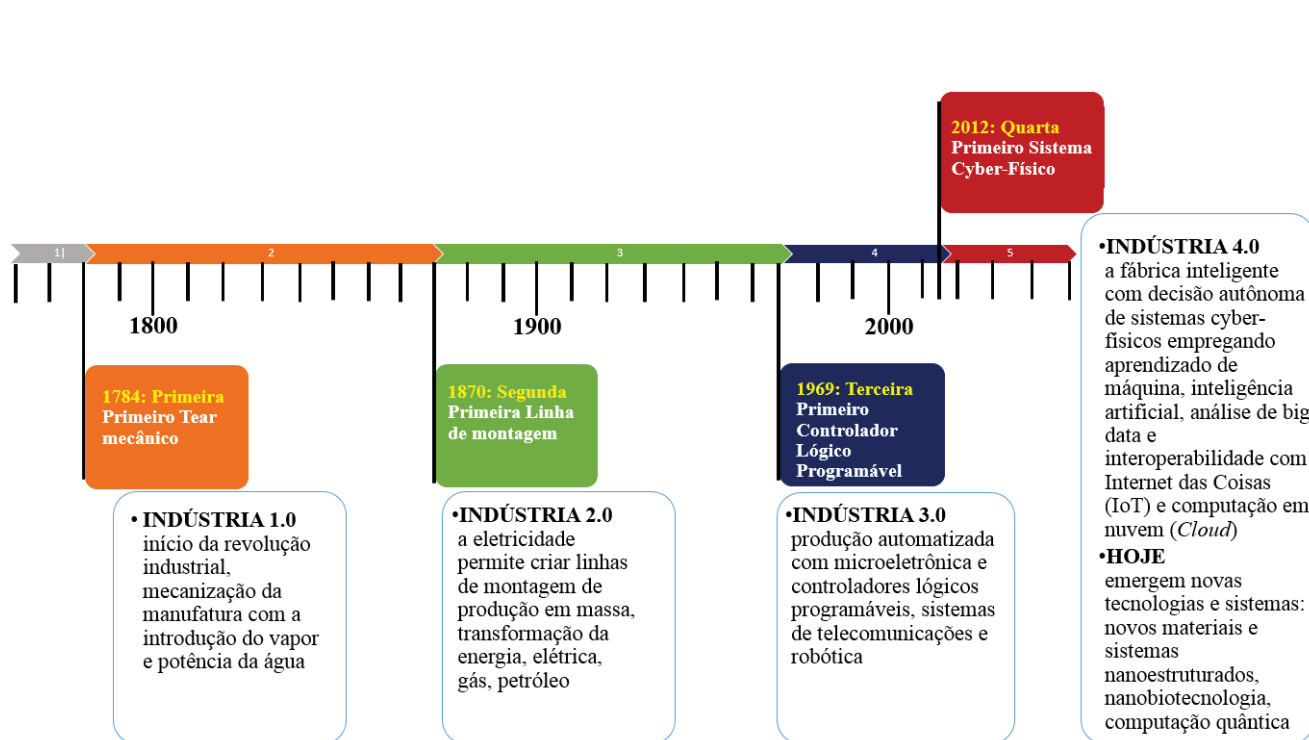
O físico Richard Phillips Feynman, ganhador do prêmio Nobel de física em 1965 e conhecido pela sua teoria da mecânica quântica, pode ser considerado o “Pai da Nanotecnologia”, devido sua visão futurística quando, em 29 de dezembro de 1959, no encontro anual da Sociedade Americana de Física (APS) em sua palestra intitulada “Há mais espaços lá embaixo”, disse que num futuro distante poderíamos manipular os átomos, emergindo assim a escala nano para a tecnologia (FAGAN, 2004).

Fases de intenso desenvolvimento tecnológico estão presentes durante e após as denominadas revoluções industriais, que em todas as suas ocorrências dominaram e mudaram o mundo em grande escala. A primeira aconteceu na segunda metade do século XVIII, em torno de 1760, com o surgimento da mecanização, utilizando a máquina a vapor em um processo que substituiu a agricultura pela indústria como os fundamentos da estrutura econômica da sociedade. A segunda revolução industrial ocorreu mais de um século depois, nos anos entre final do século XIX e início do século XX com o advento da eletricidade, do uso de gás e petróleo, com a invenção do telégrafo e do telefone, e de

novos métodos de transporte com o surgimento do automóvel e do avião no início do século XX, possibilitando um modelo econômico e industrial baseado em novas “grandes fábricas” e na produção em série. A terceira aconteceu apenas meio século depois, onde emergem a energia nuclear e seu grande potencial de força, a eletrônica - com o transistor e o microprocessador -, mas também a ascensão das telecomunicações e dos computadores com a automação de alto nível na produção graças a duas grandes invenções: autômatos - controladores lógicos programáveis (PLC) - e robôs. A quarta revolução industrial já foi observada apenas três décadas após. Sua gênese está situada neste início do terceiro milênio com o surgimento da Internet. Dentre todas, é a primeira revolução industrial ancorada em um novo fenômeno tecnológico - a digitalização - e não no surgimento de um novo tipo de energia. Essa digitalização nos permite construir um novo mundo virtual a partir do qual pode-se direcionar o mundo físico, conectando todos os meios de produção para possibilitar sua interação em tempo real, caracterizado por uma fusão de tecnologias que está transbordando as fronteiras das esferas física, digital e biológica, em um novo conjunto de sistemas *cyber*-físicos (LEE e LEE, 2015; GUBBI et al, 2013).

Surgem assim as fábricas 4.0 trazendo a comunicação entre as diferentes plataformas e objetos conectados em uma linha de produção, com novas tecnologias como *Cloud*, *Big Data Analytics* e Internet das Coisas (IoT – do inglês *Internet of Things*) que promovem a plataforma para a manufatura avançada. Pela velocidade que essas transformações estão ocorrendo, uma quinta revolução industrial já pode estar a caminho estimulada com as novas descobertas na escala nano e com a inteligência artificial (IA), (SCHWAB, 2017). A Figura 1 mostra a linha do tempo destas revoluções industriais e seus principais impactos e bases tecnológicas.

Figura 1: Linha do tempo das revoluções industriais e seus principais impactos.



Fonte: Adaptado de Schwab, 2017 e World Economic Forum, 2016.

Este novo cenário está baseado na NT e na síntese molecular de nanoestruturas, que aliado a IA, é visto pelo alto potencial para enfrentamento dos desafios globais como o desenvolvimento de fontes sustentáveis e renováveis de energia, no controle ambiental e em inovadores métodos de diagnóstico e monitoramento remoto para o setor de saúde (JORDAN, KAISER e MOORE, 2012; IBN, 2012). Na corrida para ampliar o *market-share* em NT países desenvolvidos ampliam o financiamento da pesquisa na área ao ritmo de 40-45% ao ano (LUX RESEARCH, 2014). Há um amplo mercado para NT emergentes notadamente aquelas resultantes de inovações que utilizam nanomateriais e nanointermediários, tais como pontos quânticos, fulerenos e nano fármacos endereçados.

Houve variações nos processos de desenvolvimento entre os países, mas em todos, a ciência, tecnologia e a sistematização do conhecimento com ensino e pesquisa, foram a mola mestra do crescimento econômico e de maiores e melhores condições sociais, pavimentando o caminho de transformação para o mundo que hoje conhecemos (SZMRECSÁNYI, 2001).

A pesquisa básica e tecnológica e o conhecimento científico, em uma parceria contínua entre cientistas, universidades, empresas e militares, são basilares no processo de inovação tecnológica e crescimento econômico das nações (MOWERY e

ROSEMBERG, 2005), e que segundo Henry L. Stimson (1945) “essa integração deve transcender a meramente uma doutrina, tem de se tornar um estado de espírito, tão firmemente inserido em nossas almas a ponto de tornar-se uma filosofia invencível.”, (STIMSON, 1945, *apud* NOBLE, 2011, p.12).

No contexto dos países desenvolvidos o desenvolvimento econômico e social vem junto com a transformação da estrutura e organização do processo de inovação, e esse processo é nítido quando se investe em P&D. Surge assim um triunvirato virtuoso: indústrias, governo e universidades, todos financiadores e realizadores de P&D. O currículo de ensino e pesquisa deve ser voltado para oportunidades comerciais, e as empresas serão o principal motor em funcionamento para a comercialização de tecnologia e o principal canal para obtenção de novos produtos para o mercado e para o benefício da sociedade (MOWERY e ROSEMBERG, 2005). Assim também Gibbons (1994, p.46) sugere que a direção da pesquisa migra das disciplinas básicas para uma nova ordem orientada pela demanda, visando alguns objetivos específicos, onde a produção de conhecimento torna-se parte de um processo maior formado por um conjunto mais diversificado de exigências intelectuais e sociais, no qual a descoberta, aplicação e utilização estão intimamente integradas. Entretanto, para os países em desenvolvimento (PED) diferenças de investimento e orientação em P&D podem explicar, em parte, porque em alguns desses países esta reorientação deu certo e em outros não.

Há uma influência positiva para o desenvolvimento tecnológico pelas cooperações internacionais, sugerindo que as políticas nacionais de inovação serão mais eficientes se, em sua orientação, forem abertas à internacionalização. Novas perspectivas surgem, pois pequenos mercados de alta tecnologia nascem globais ao terem oportunidade de usar redes internacionais podendo conquistar um mercado de escala suficiente para apoiar a abertura de empresas, e rompendo as forças competitivas locais que impedem o sucesso de seu foco doméstico (SHAPIRA, YOUTIE e KAY, 2011, p.588). Completa o quadro, a literatura sobre dependência de caminho e vantagem cumulativa, sugerindo que a NT será concentrada em um pequeno número de áreas onde tem predominado ciclos anteriores de desenvolvimento de tecnologias e que tem capacidades já enraizadas e diversos ativos para desenvolver e comercializar inovações científicas. Assim aqueles que almejem papel de destaque no cenário da NT, devem não só reforçar os vínculos de P&D intra e inter-regionais, como envolver um conjunto completo de universidades regionais e instituições públicas de pesquisa, mas também deverão dar atenção às estratégias para comercializar suas pesquisas e ampliar a demanda

regional de negócios orientada para aplicações em NT (SHAPIRA e YOUTIE, 2008, p.196-198). Como exemplo, a Europa teve habilidade em desenvolver e difundir a NT, com papel de destaque no cenário mundial, por apresentar adequada infraestrutura e programas de educação em N&N, coordenação das atividades em metrologia com a definição de padrões e regulação, bem como a integração da NT com as pequenas e médias empresas (HULLMANN, 2006, p.83).

No período de 1998 a 2006 as patentes em NT ainda ficaram marginais nas grandes firmas incumbentes, em parte porque essas firmas têm alto fator de *lock-in* seja pelo envolvimento nas suas cadeias de fornecedores e clientes, seja pelas competências de recursos humanos (RH). Em geral a NT foi incluída em produtos existentes, combinando-a com outras novas tecnologias. Aquelas que tinham maior capacidade de pré-adaptação, habilidade em adquirir novos conhecimentos futuros, prosperaram e foram as primeiras em inovações radicais em NT, pois os novos entrantes tendem a ter baixos investimentos em inovações radicais (MANGEMATIN, ERRABI e GAUTHIER, 2011, p.642). Entretanto as firmas incumbentes podem se beneficiar de suas vantagens competitivas e recombina partes de seus conhecimentos e experiências em um novo fluxo de conhecimentos (FREEMAN e SOETE, 2008, p.616-620). Nesse período as empresas dos EUA foram as maiores produtoras de publicações corporativas e patentes em NT, e tendem a publicar mais artigos em comparação com sua produção de patentes do que as empresas não estadunidenses. Isto sugere uma maior e mais ampla difusão tecnológica da NT nos EUA. No contexto global da NT, destacam-se quatro grupos de países sendo liderados pelos EUA, Alemanha e Japão. Em segundo um grupo diverso de vários países grandes e médios incluindo França, Reino Unido, Coreia do Sul, China e Israel. Em terceiro, países menores no desenvolvimento da NT como a África do Sul e Brasil. Por fim micro países em NT como Malásia, Eslovênia, Islândia e Luxemburgo (SHAPIRA, YOUTIE e KAY, 2011, p.594). Esses dados são confirmados pelo *Nano Mapper*, banco de dados em patentes de NT com fonte de dados da USPTO, EPO e JPO, que mostra uma contínua tendência de crescimento observada nos anos anteriores, com uma taxa positiva de 20-30% entre os anos de 2005 e 2006. As patentes dos EUA continuam a ter um grande impacto sobre o domínio da NT, porém China, Coreia do Sul, Alemanha, França e Holanda apresentam uma rápida e crescente curva de crescimento (LI et al, 2009, p.545).

Em relação ao país de origem do inventor os EUA aparecem como líder, mas a China e países europeus como Reino Unido, Alemanha e França tem ampliado

consideravelmente sua participação, e a uma taxa de crescimento maior que a dos EUA, sugerindo que a NT está acontecendo mais rápido fora dos EUA. Em relação a país e setor de inovação, dentre os seis principais, três são dos EUA e outros três da Ásia, com Japão, Taiwan e China, sendo os setores de computadores e eletrônicos e o de universidade-governo os mais presentes. Isto pode estar associado a uma extensão da 4ª revolução tecnológica (RT) e a um relativo estágio inicial da NT. Entretanto, como no período entre 2006 a 2011 as patentes em NT cresceram em aproximadamente 150% no contexto global, há uma tendência de crescimento exponencial que marca o início de uma RT. Empresas dos EUA são três entre as principais cinco nos setores de computadores, energia tradicional e alternativa, saúde e medicina, universidade-governo, e no setor de química são duas entre as três principais (JORDAN, KAISER e MOORE, 2012, p.123-124). Esta hegemonia dos EUA em NT tem diminuído gradativamente desafiada por outros países cujo desenvolvimento da NT é cada vez mais substancial. A China ultrapassou os EUA na quantidade de publicações em N&N, embora ainda tenha um menor número de citações, mas com um viés de crescimento. Na área de nanocompósitos o índice de crescimento da China, comparado aos EUA, é duas vezes maior que o índice geral da N&N. Este crescimento do número e qualidade de pesquisadores chineses em N&N, da produção da pesquisa e da publicação em periódicos de alto impacto, leva a China a uma sólida fundação de sua capacidade e qualidade industrial em NT (KOSTOFF, 2012, p.987-988).

Com relação à América Latina (AL) três países, Argentina, Brasil e México, foram responsáveis por 85% de toda a publicação em NT no período de 1990 a 2006, porém representando apenas 3,6% do total mundial em 2002 e caindo para 3% em 2005. Esse declínio pode ser, em parte, pelo aumento das atividades de pesquisa e publicações dos países líderes, pois nesse período a taxa de crescimento da P&D nos EUA foi de 57% e de 170% na China, enquanto na AL foi de apenas 33%. O Brasil está na liderança na AL em investimentos para P&D e publicações da NT, cuja política de NT efetivamente teve início em 2001 com a criação de quatro redes institucionais multidisciplinares com o objetivo de promover a pesquisa em NT, que teve o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) como agente central. Porém há concentração da NT em poucas disciplinas e setores da economia. O México é o segundo em NT na AL, e tem a vantagem da posição geográfica que facilita a cooperação com os EUA para a comercialização da NT, com facilidades diferenciais de acesso a um maior mercado que os demais países da AL. Por outro lado, esse mesmo fator poderá trazer

consequências negativas a médio e longo prazo, pois traz dificuldades para reter seus pesquisadores mais qualificados devido a melhores salários e condições de pesquisa nos EUA (KAY e SHAPIRA, 2009. p.261-264).

Esses três países da AL, (Argentina, Brasil e México), mostram características comuns, de um lado por apresentarem a criação de centros de excelência integrados à indústria com investimentos em infraestrutura de pesquisa em NT, equipamentos e novos laboratórios, e por outro lado pela falta de atenção aos aspectos sociais inerentes a esta revolução tecnológica, como a qualificação da força de trabalho e a adequada proteção de consumidores e trabalhadores frente aos potenciais riscos da NT (FOLADORI et al, 2012, p.331-332). Ressalta-se ainda que os três países reorientam o fomento da P&D, a maioria financiada pelo poder público, para a cooperação universidade-empresa com vistas a melhorar seus índices de competitividade na NT, enfrentar o desafio da falta de inovação das empresas na AL e uma maior fixação de pesquisadores da indústria, e redirecionar a NT para um contexto econômico orientado ao desenvolvimento nacional (p.357). Com relação ao Brasil, desde o marco inicial da NT em 2001, a orientação da política central de NT desenvolvida ao longo da década apresenta uma lacuna para os aspectos éticos, legais e sociais (ELSI) e os riscos potenciais inerentes da NT, com papel marginal na pesquisa e políticas do setor, o que levou a que o desenvolvimento e a comercialização de produtos com materiais nanoestruturados terem sido feitos nos termos da legislação vigente, emergindo o problema de não considerar, até agora, novas e diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas com materiais em nanoescala (INVERNIZZI, KORBES e FUCK, 2012, p.71-73).

Nesse contexto, se a NT irá constituir a base de uma nova ordem econômica e social ainda é uma das grandes incertezas presentes, o que leva a indefinições sobre a maneira apropriada de prover educação para suportá-la. Países emergentes bem como as economias estabelecidas buscam a NT não só por sua promessa em resolver suas prementes necessidades de desenvolvimento econômico e social, mas também para posicionar-se de forma vantajosa e competitiva no que pode ser a próxima onda econômica mundial. Por sua convergência com desenvolvimento na interface de várias tecnologias, vai requerer o ensino de diferentes habilidades que deverão estar contempladas em todo o processo educacional, do ensino médio, graduação e pós-graduação em todas as áreas da ciência, incluindo humanas e sociais. Deverá ser um processo que vai do ensino das habilidades básicas necessárias para a atual força de trabalho, aos Nanocentros de excelência e *Hubs* tecnológicos de NT. Embora estas

iniciativas sejam necessárias para uma adequada evolução da NT, muitos países ainda não reconheceram esses desafios e suas oportunidades (ROMIG et al, 2007, p.1639).

2.3 Breve Histórico das Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil

Esta seção apresenta uma síntese da trajetória das políticas de ciência e tecnologia (PCT) no Brasil a partir de 1950, quando essa política se institucionalizou no país com a integração, posteriormente, da inovação (PCTI). Esta síntese serve para mostrar que a construção da política e o desenvolvimento da nanotecnologia, objeto desta tese, foram alicerçadas a partir dos resultados obtidos nesta trajetória de crescimento e evolução da PCT e PCTI no Brasil.

Foi a partir de 1930, e mais profundamente nos anos 1950, que o setor industrial brasileiro foi consolidado como atividade para a economia brasileira. Em meados de 1950, a política científica e tecnológica começa a desenvolver projetos, originar recursos e legalizar o marco institucional referente a PCT para seu crescimento (SANTOS JUMIOR, 2013). Foi um processo de modernização tardio, surgido de novas estruturas sociais e transformações culturais, científicas e tecnológicas. Embora já houvesse algumas ações em política científica e tecnológica anteriores aos anos de 1950, é neste período que se iniciam o desenvolvimento de projetos, levantamento de recursos e legalização do marco institucional referente à PCT para seu crescimento (MOTOYAMA, 2004).

A partir da década de 1950 a PCT brasileira se institucionaliza, quando o Estado de forma sistemática passa a amparar a área de ciência e tecnologia. Em 1951, é instituído o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), por meio da Lei nº 1.310/51, que mais tarde vem a se chamar Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico mantendo-se a mesma sigla institucional (CNPq), e conforme seu artigo 1º “[...] terá por finalidade promover e estimular o desenvolvimento da investigação científica e tecnológica em qualquer domínio do conhecimento”, é o Estado reconhecendo a relevância do desenvolvimento científico e tecnológico. Posteriormente, também 1951, é criada a Coordenação Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio do Decreto nº 29.741/51 que em seu Art. 2º (a), coloca como objetivo principal: “assegurar a existência de pessoal especializado em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades dos empreendimentos públicos e privados que visam o desenvolvimento econômico e social do país”. Nesse sentido, a criação da

CAPES e do CNPq e a institucionalização da PCT brasileira aconteceram devido à modernização da ordenação do Estado e à influência da comunidade de pesquisa. Essas iniciativas são transformadoras e, na década de 1960, promovem uma evolução na infraestrutura de pesquisa nas universidades e em diversas instituições com a criação de vários laboratórios e empresas públicas, com o objetivo focado ao desenvolvimento de C&T. O governo à época tinha promovido as reformas de base. No que tange à política científica e tecnológica, com o Regime Militar instituído no Brasil em 1964, os atributos do projeto de desenvolvimento apareciam bem manifestos, sendo que alguns campos do conhecimento pouco explorados no Brasil receberam mais atenção. Mesmo com significativa mudança política nesse período, a política científica e tecnológica brasileira foi pouco alterada, (DIAS, 2009).

Nesse período houve rápida expansão da C&T, impulsionada por três fatores capitais: a preocupação do governo federal em instituir capacitação em C&T no país, como parte de desenvolvimento e autossuficiência nacional; o incentivo da comunidade científica para com a política de C&T, embora houvessem conflitos com o governo militar; e o crescimento econômico do Brasil com taxas de crescimento entre 7 e 10% ao ano (SCHWARTZMAN et al, 1995). Outro fator relevante é descrito por Dias, (2009) quando em 1964 houve a criação do Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (FUNTEC), sendo que o Fundo revelou papel considerável à comunidade científica e profissional mesmo com recursos limitados.

Como forma de dar sustentação ao desenvolvimento da C&T no país, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) foi instituído pelo Decreto-Lei nº 719/69, e teve como finalidade dar apoio financeiro aos programas e projetos prioritários de desenvolvimento científico e tecnológico, para implantação do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PBDCT) (BRASIL, 1973). O FNDCT teve como objetivo principal atender à deficiência dos mecanismos de apoio ao sistema de pesquisas científicas e tecnológicas brasileiras, ditos como prioritários e foi colocado sob a administração da FINEP (FERRARI, 2002). Nesse sentido houve uma preocupação em estimular as atividades de pesquisa e desenvolvimento no interior da empresa, e foi determinante para fortalecer e ampliar a pesquisa no âmbito das universidades públicas brasileiras (SANTOS JUNIOR, 2013, p.95).

No período de governo entre 1967–1969 ocorreu um processo de revalorização da investigação científica e tecnológica. Neste período o CNPq agiu como instituição estratégica. Houve o apoio do Plano Trienal (1968-1970) elaborado pelo então Ministério

do Planejamento, em que a área de ciência e tecnologia aparecia como instrumento de aceleração do desenvolvimento nacional (DIAS, 2009). A ciência e tecnologia passou a ganhar realce nos programas econômicos nacionais com ações do governo brasileiro que implementou mudanças com vistas a apoiar a comunidade científica, concedendo aumento de verbas para pesquisas e ao apoio à carreira do pesquisador (HERRERA, 1983). Marco histórico destas ações foi a criação da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo Decreto nº 61.056/67, que teve como função o gerenciamento do Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas, instituído pelo Decreto nº 55.820/65. Seu foco central, desde sua criação, tem sido o fomento a atividades de inovação tecnológica e de desenvolvimento industrial. A FINEP embora tivesse papel importante na política científica e tecnológica teve um percurso relativamente estável e sem muita evidência, mas mesmo assim teve seu marco na PCT brasileira (SOUZA, 2002).

Surge então a partir da década de 1970, a questão da transferência de tecnologia, em uma crítica que se faz ao modelo de desenvolvimento tecnológico, com a entrada de capitais estrangeiros e a não absorção por parte da indústria nacional de novos instrumentos produtivos (HERRERA, 1983). Valle (2005) corrobora enfatizando que mesmo com esforço concentrado junto aos planos de desenvolvimento que buscavam a incorporação de competências tecnológicas e inovativas, não se instituiu uma base técnico-científica produtiva ligada aos ideais de desenvolvimento da economia do país. Foi assim que, apesar da maioria das grandes empresas do setor produtivo da década de 1970 terem seus laboratórios de controle de qualidade com anseios a centros de pesquisa de desenvolvimento, a inexistência de recursos humanos com qualificação necessária fez com que algumas empresas confiassem à universidade as atividades de pesquisa. Porém, muitas dessas empresas não encontravam na universidade pesquisas referentes às suas necessidades, assim tornando-se indispensável promover laboratórios em que as pesquisas tratassem de suas prioridades (DAGNINO, 1983; SANTOS JUNIOR, 2013).

Como resposta a esse desafio, é instituída a Lei nº 5.727/71, de 04/11/1971, que dispõe sobre o Primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento - PND para o período de 1972 a 1974, aprovando diretrizes e prioridades para o desenvolvimento da ciência e tecnologia (PND, 1971). O Plano precisava gerar a integração entre indústria-pesquisa-universidade, sendo que passou a ser um objetivo constante da política científica e tecnológica brasileira, à aproximação entre as universidades e o setor produtivo. Este movimento foi um subsídio do Estado numa tentativa de gerar laços entre a comunidade de pesquisa e o setor produtivo, com a intenção de garantir que o resultado dos

desenvolvimentos de C&T pudessem ser transferidos à sociedade e aos seus potenciais usuários (OLIVEIRA, 2003, p.22).

A década de 1970 consolidou o Sistema Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (SNDCT), criado pelo Decreto nº 75.225/75, com esforços do governo para promover o desenvolvimento nacional, através de ações sobre a política setorial de ciência e tecnologia, com novas metas, programas e mecanismos setoriais, como o I Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PBDCT. Esta estruturação do SNDCT foi fundamental para integrar instituições e mecanismos financeiros voltados para o desenvolvimento e o fortalecimento da área de ciência e tecnologia no país (MONTEIRO, 1999, p.115). Estas ações afirmativas para a C&T na década de 1970 são ratificadas com a implementação do II PND (1975-1979) e o II PBDCT, criado pela Lei nº 6.151/74, que ratificaram alguns dos pontos dos Planos anteriores. Destacam-se nessas ações a prioridade em articular a política científica e tecnológica à estratégia de desenvolvimento e tornar mais forte a base tecnológica da indústria local. Para reforçar a agenda das ações para a C&T, é implantado o Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG), de 1975, tendo como meta formar mestres e doutores (MOTOYAMA et al, 2004). Essa ação demonstra historicamente um marco na trajetória da PCT, brasileira e elucida a importância dada à formação de recursos humanos qualificados que, repetida ao longo de décadas, gerou uma maior oferta de cientistas, engenheiros e outros profissionais ligados à área de C&T (DIAS, 2009).

Historicamente marcada pela estagnação econômica e o descontrole da inflação, foi a década de 1980 (GIMENEZ, 2007). Ainda assim, a ciência e tecnologia deste período foi apontada como de especial importância, representando um período de grande crescimento, com isso, as políticas de apoio a atividades ligadas a C&T ganham ainda mais importância do que tinham antes. Através do III PBDCT que contemplou o período de 1980 a 1985, houve uma ressignificação do papel da comunidade de pesquisa na elaboração da PCT brasileira, assegurando uma participação mais ativa e direta, a academia era não apenas fortalecida, mas institucionalizada no comando da política no interior do CNPq (SALLES-FILHO, 2003, p.409).

A instituição do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em 1985, foi de grande relevância para a PCT brasileira, especialmente no que tange à organização político institucional, estabelecendo diretrizes e programas, repassando recursos, e ordenando as ações das demais instituições. Mesmo com períodos de instabilidade nos primeiros anos de sua criação, o MCT foi o executor do primeiro Programa de Apoio ao

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), elaborado ainda em 1984 e implementado no período 1985-1990 (DIAS, 2009, p.87). Este programa foi criado como um instrumento complementar da política de fomento à ciência e tecnologia, com o objetivo de introdução de novos critérios, mecanismos e procedimentos indutivos de apoio em áreas definidas como prioritárias, de forma a produzir um aumento quantitativo do apoio financeiro à pesquisa (MCT, 2002a, p.1). Dentre esses mecanismos foi lançado o I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República - I (PND-NR), para o período de 1986 a 1989 e também o Plano de Ação Governamental (PAG) para o período de 1987 a 1991, cujas prioridades eram além da eliminação dos desequilíbrios sociais, o desenvolvimento tecnológico e a formação de recursos humanos (BAUMGARTEN, 2008).

Nos anos seguintes, na década de 1990, o governo implementou programas para fortalecer a competitividade das indústrias do país como: Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQB), Programa de Apoio ao Comércio Exterior (PACE) e o Programa de Melhoria da Competitividade Industrial (PCI) (SILVA e MELO, 2001; SANTOS, 2001). Houve a reabilitação do FNDCT em 1991, por meio da Lei nº 8.172/91 e destaca-se a Lei nº 8.661/93, que foi basilar na definição da política de incentivos fiscais às atividades de P&D e de inovação. Inicia-se nessa década um processo de reforma do Estado em que não houve mudanças estruturais na área de C&T, mas foi implementada a regulação de algumas de suas atividades mediante a Lei nº 9279/96 de Propriedade Industrial, a Lei nº 9609/98 do “*Software*” e a criação do CT-Petro,² que se trata de um Fundo com o objetivo de estimular a inovação. Essas iniciativas formaram um estágio inicial dos demais Fundos Setoriais (FS) em 1997, mas que passou a valer mais precisamente em 1999. Nesse período o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica não ocorreu de forma sistematizada e intencional, dado a falta de investimentos e priorização do setor. Os FS foram criados com a finalidade de financiar atividades de pesquisa nas empresas privadas que pudessem suavizar a desigualdade entre as condições científica e tecnológica do país, pois o Brasil apresentava consideráveis indicadores de produção científica, com publicações em revistas internacionais no campo tecnológico, porém não mostrava o mesmo desempenho (LIMA, 2009). Estes FS vêm

² CT-Petro - Fundo criado em 1997, por meio da Lei nº 9.478/97, de 6/08/1997 e Decreto nº 2.705/98, de 03/08/1998 para estimular a Inovação na cadeia produtiva do setor de Petróleo e Gás Natural.

desde 1999 atuando na dinâmica da inovação financiando projetos em diversas áreas do Brasil, promovendo a interação entre universidade-empresa (PACHECO, 2003).

Destaca-se dentre os FS o Fundo Verde-Amarelo (FVA), cujo propósito é incentivar a relação entre universidade-empresa sendo que as instruções que o orientam mostram a preocupação em unir a C&T à inovação. Buscou-se com o FVA a modernização e ampliação da infraestrutura de C&T, capaz de promover uma maior sinergia entre universidades e centros de pesquisa como o setor produtivo, de forma a obter geração de conhecimento e inovação que contribuam para os grandes problemas brasileiros (BASTOS, 2003, p.240). Foi também nesse sentido que o Brasil alterou o rumo da política nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) com a criação de instituições voltadas ao desenvolvimento dessas áreas com enfoque de inovação durante a década de 1990 até meados do ano 2000, em uma reorientação e convergência com a política industrial, o que exigiu a elaboração e implementação de políticas de longo prazo e a criação de mecanismos de incentivo ao desenvolvimento tecnológico e novas fontes de financiamento para a C&T. (DIAS, 2009, p.97-98).

Bagattoli, (2013), descreve que no final dos anos de 1990, a PCT brasileira passou a ser norteada por uma meta inovacionista, que coloca à inovação empresarial como principal objetivo, uma vez que a estratégia anteriormente utilizada de promoção do desenvolvimento tecnológico endógeno, motivada especialmente na formação de recursos humanos e no fomento da pesquisa básica nas universidades e Instituições de Pesquisa Pública (IPP), a PCT passou a destacar mais no fomento e subsídio direto à empresa, assim novos organismos de fomento foram criados e os anteriores reformulados muito com o empenho do Estado com incentivos financeiro na área. Porém uma análise aprofundada nos permite verificar que o objetivo de aumentar a P&D nas empresas e como consequência seu dinamismo tecnológico não ocorreu.

A questão da emergência da inovação nos marcos regulatórios brasileiros, é uma das principais características das ações de C&T do período dos anos 2000, que também introduziu importante mudança no cenário científico do país, com a intensificação do processo de descentralização do fomento à ciência, tecnologia e inovação. Isso ocorre pela incorporação paulatinamente crescente de novos atores institucionais, como os governos estaduais e municipais e instituições do setor privado (DIAS, 2013). Instituiu-se então, em 2004, a Lei nº 10.973/04 denominada Lei da Inovação que dispõe sobre a aplicação de incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, como o propósito maior de promover uma maior autonomia tecnológica no

desenvolvimento industrial do País. Isto sinaliza a necessidade de alteração do papel das agências e dos órgãos de governo voltados ao planejamento e ao fomento em C&T (BRASIL, 2004).

Reforçando esse cenário, em 2005, é instituída a Lei nº 11.196/05 conhecida como Lei do Bem, que trata sobre incentivos fiscais destinados à inovação tecnológica permitindo que qualquer empresa comprometida na realização de P&D possa se beneficiar dos incentivos disponíveis (ARRUDA, et al 2006). Apesar do contínuo crescimento do número de empresas que utilizaram os benefícios dessa Lei desde o início de sua vigência, em todos esses anos esse número foi aquém das expectativas do governo federal brasileiro (FABIANI e SBRAGIA, 2014).

O Plano Plurianual do MCT, para o período de 2008-2011, tem por finalidade promover ações voltadas para a inovação tecnológica integradas com a atividade produtiva e no contexto social. Este Plano Plurianual, parte dos objetivos do Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento do País, senão vejamos: expansão e consolidação do Sistema Nacional de CT&I; promoção da inovação tecnológica nas empresas; pesquisa, desenvolvimento e inovação em áreas estratégicas; e CT&I para o desenvolvimento social (THEIS, 2014). Apesar desta pluralidade de ações, na concepção de Bagattolli (2013), a PCT brasileira prossegue orientada por um modelo ofertista que tem como centro a ideia de que a capacitação de recursos humanos e o fomento à pesquisa universitária levam ao desenvolvimento econômico e social (BAGATTOLLI, 2013).

Novas ações passam a ser implementadas no período de 2011-2016, em que foi sancionado o Marco Legal da Ciência e Tecnologia e Inovação, por meio da Lei nº 13.243/16, que torna a legislação de pesquisa mais completa e mais ágil, regulando a relação entre entes públicos e privados, visando reduzir a burocracia e dar mais celeridade ao processo de desenvolvimento tecnológico. Um dos principais pontos dessa legislação é a proposta de aproximação entre as universidades e as empresas, facilitando a pesquisa e o desenvolvimento científico no país (BRASIL, 2016). De forma a dar sustentação a essas iniciativas o MCTI edita em 2012 a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, para o período de 2012-2015, tendo como um dos atores centrais a FINEP, que aparece para trabalhar na fronteira dos desafios tecnológicos colocados para o desenvolvimento do Brasil, respondendo as orientações políticas do MCTI em dar suporte técnico e financeiro aproveitando as oportunidades abertas pela crise objetivando “posicionar a economia brasileira em um patamar inédito na história” (MCTI, 2012).

Em janeiro de 2016, foi sancionada a Lei nº 13.249/16 que institui o Plano Plurianual da União para o período de 2016 a 2019. A Lei define diretrizes, objetivos e metas da administração pública federal para as despesas de capital com o propósito de viabilizar a implementação e a gestão das políticas públicas, tendo como uma de suas principais diretrizes estimular e valorizar a educação, ciência, tecnologia e inovação e promover a competitividade” (BRASIL, 2016).

Todos esses programas e legislação construídos ao longo das últimas décadas, a partir de 1950, forneceram subsídios para a criação de capacidades de ciência, tecnologia e inovação no país, a partir das quais se deu o desenvolvimento da N&N no Brasil, cujas políticas foram possíveis, em grande parte, devido a esta evolução anterior das PCTI que culminou na construção de uma estrutura de pesquisa essencialmente desenvolvida.

2.4 Emergência mundial das políticas de Nanotecnologia

As iniciativas de governo dos países desenvolvidos para estimular e apoiar as N&N, considerando-as como um campo prioritário para a inovação, desempenharam um papel importante para o sucesso das NT. Suas políticas para as N&N são muito semelhantes nos objetivos que procuram alcançar, havendo coincidências no aprimoramento de mecanismos para promover a cooperação, a pesquisa básica e a interação com as empresas, na elaboração de procedimentos para garantir o alinhamento na implementação e execução. Mais recentemente incluem orientações voltadas à proteção ao consumidor e meio ambiente e facilidades para o comércio transfronteiriço com a promoção da inovação entre os países (AAS, 2012; CEC, 2005; NSTC, 2004).

Foi a partir dos anos 2000 que os países desenvolvidos se engajam mais fortemente com o compromisso de PD&I para a NT. Países como EUA, Japão, Reino Unido e Alemanha aceleraram rapidamente investimentos em NT com forte presença de recursos públicos, passando a constituir grandes *players* no cenário global. Nesses países os investimentos privados em N&N estiveram presentes desde o início do ano 2000 em volumes similares e até maiores que os públicos (WATERS, 2004; CHARRIÈRE e DUNNING, 2014). Em 2000, o governo britânico publica o documento “Excelência e oportunidade: uma política de ciência e inovação para o século 21” estabelecendo um compromisso de investimentos da ordem de £ 250 milhões de libras para a “pesquisa em novas áreas-chave que moldarão a vida no século XXI: genômica, e-ciência e tecnologia básica, como nanotecnologia, computação quântica e Bioengenharia” (GREAT

BRITAIN, 2000, p.9). É nesse mesmo ano que os EUA lançam sua Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (INN), implementada em 2001, principalmente focada em desenvolver infraestrutura de pesquisa com novos laboratórios e redes cujos objetivos são: “(1) manter um programa de P&D de classe mundial; (2) facilitar transferência de novas tecnologias para produtos; (3) desenvolver recursos educacionais para formar mão-de-obra qualificada e implantar infraestrutura de apoio para avançar na nanotecnologia; e, (4) apoiar o desenvolvimento responsável da nanotecnologia” (NSTC, 2004). Desde seu lançamento em 2001 até o ano de 2017 o acumulado de recursos investidos foi na ordem de US\$ 24 bilhões, sendo 2017 considerado como valor previsto, e aproximadamente metade desse valor foi proveniente de investimentos privados. Em adição à política federal há importantes iniciativas estaduais como as do Instituto de Nanosistemas da Califórnia (nanomedicina, novos materiais), Centro de Excelência de Nanoeletrônica (circuitos integrados em escala nano) e Complexo de Nanotecnologia de Albany (fabricação de nanocomponentes) em Nova Iorque, o Centro de Nanotecnologia da Pensilvânia (nanofabricação) e do Illinois (formação de recursos humanos em N&N). Em 2003 o Congresso dos EUA promulga a Lei de Desenvolvimento e Pesquisa de Nanotecnologia do século XXI (LDPN) estabelecendo as diretrizes e metas para a N&N. Em 2011 o governo dos EUA lança uma nova política de NT intitulada “Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais”. Em 2016 a última revisão do plano estratégico INN, conforme preconizado pela LDPN, direciona os investimentos públicos para cinco grandes áreas: (i) iniciativas de nanotecnologia de amplo alcance e grandes desafios; (ii) pesquisa fundamental; (iii) aplicações, dispositivos e sistemas habilitados para nanotecnologia; (iv) infraestrutura de pesquisa e instrumentação; (v) ambiente, saúde e segurança (NSTC, 2018).

O Canadá inicia suas ações em 2001 com a criação da organização sem fins lucrativos *NanoQuébec* com recursos do governo federal e provincial, e em 2002 o Instituto Nacional de Nanotecnologia, tendo a missão de fortalecer a inovação em NT com o objetivo de assegurar um crescimento econômico sólido e sustentado para o país. No mesmo ano também é criada a *Canada Nanobusiness Alliance* (CNBA), em um esforço para uma iniciativa nacional para a promoção da comercialização de nanotecnologias no Canadá e em todo o mundo. É um dos países com maior foco na regulação das NT com vistas à proteção à saúde humana e ao meio ambiente. A sua estrutura PD&I em NT é provida conjuntamente pelo governo federal, governos provinciais, universidades e setor privado (CHARRIÈRE e DUNNING, 2014).

Em 2004 a União Europeia (UE) adota uma estratégia comum através da promulgação do documento “Nanociências e Nanotecnologias: Um plano de ação para a Europa 2005-2009”, com metas de ampliar e coordenar a PD&I em NT e promover o desenvolvimento empresarial para sua comercialização. Tal estratégia resulta em um plano de ação plurianual (CEC, 2005), que incluiu explicitamente a nanotecnologia como tema em seu programa de financiamento da pesquisa em uma ação coordenada entre os países da UE. Entre 2007 a 2013 projetos de NT no âmbito da UE recebem investimentos de EUR 2,560 milhões, em áreas como nanoeletrônicos, nanofotônica, nanobiotecnologia e nanomedicina (DGRI, 2015). Mais recentemente a UE adota um novo programa para PD&I para o período de 2014 a 2020, *Horizon 2020*, com ênfase para a N&N e suas interações e convergências entre as diferentes tecnologias e relações com desafios sociais, levando em consideração as necessidades dos usuários em todas as NT. O orçamento desta iniciativa é da ordem de EUR 77 bilhões (CEU, 2013, p.111).

Com o intuito de normalizar o desenvolvimento e aplicações de NT, em 2005 é criado o Comitê Técnico TC229, da International Organization for Standardization (ISO). O Comitê é presidido pelo Reino Unido, e composto de Grupos de Trabalho voltados para Terminologia e Nomenclatura (Canadá, Coordenador), Medição e Caracterização (Japão, Coordenador) e Saúde, Segurança e Meio Ambiente (EUA, Coordenador).

Com a evolução da NT e os primeiros produtos contendo nanomateriais sendo comercializados e liberados para consumo público sem testes adequados, existe um vácuo regulatório, pois ainda não existem leis que o monitorem. Para responder a este desafio é criado em 2006 em Genebra (Suíça) o *International Risk Governance Council* (IRGC), que gerou recomendações de governança para governos, indústria, pesquisa e academia, ONGs e organizações internacionais. Com a mesma preocupação, também em 2006, a Food and Drug Administration (FDA), nos Estados Unidos da América (EUA), estabelece a Força Tarefa em Nanotecnologia, encarregada de delinear abordagens regulatórias que permitiriam o desenvolvimento continuado da nanotecnologia, de forma a assegurar que os produtos que a contivessem seriam seguros e eficazes. Da mesma forma, é financiado pela EU o *Nanologue*, projeto destinado a estabelecer rotas comuns para as questões éticas, legais e os aspectos sociais da NT, promovendo em toda a Europa um diálogo entre ciência, negócios e sociedade civil. Nesse mesmo ano de 2006, a cidade de Berkeley (EUA) torna-se o primeiro governo municipal nos EUA a regular a NT alterando seu Código Municipal introduzindo novas medidas sobre como as instalações com NT devem lidar com segurança, monitoramento, contenção, eliminação, controle e

inventário para evitar a liberação e mitigar tais materiais nanoestruturados no meio ambiente (HODGE, BOWMAN e KARINNE, 2007).

Por iniciativa da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é criado nesse mesmo ano um grupo de trabalho para gerar ou possibilitar ou propiciar a cooperação internacional em matéria de proteção à saúde humana e segurança ambiental relacionadas à nanomateriais fabricados com vistas a garantir que a abordagem do risco e a exposição a esses materiais seja internacionalmente harmonizado envolvendo testes de segurança e avaliação de riscos. No ano seguinte, em 2007, a OCDE estabelece no âmbito do seu Comitê de Política, Científica e Tecnológica (CSTP) o Grupo de Trabalho em Nanotecnologia, visando gerar subsídios para as novas questões políticas de ciência, tecnologia e inovação relacionadas ao desenvolvimento responsável da nanotecnologia (OECD, 2015).

Em 2008 a Austrália lança sua política de NT, a Estratégia Nacional de Nanotecnologia, com a criação do Escritório Australiano de Nanotecnologia, para sua implementação e uma revisão das estruturas do governo para a sua regulação e o fomento às atividades de interação com a indústria. Priorizam as áreas de segurança hídrica e alimentar, saúde humana, agricultura sustentável, energia limpa e segurança e defesa nacional. Outra estratégia adotada é o estímulo à pesquisa interdisciplinar, a relação universidade-empresa para transferência de tecnologia e o engajamento internacional (AAS, 2012). No âmbito da UE, a *Royal Society*, no Reino Unido (UK), lança em parceria com a *Knowledge Transfer Network*, *Insight Investment* e *Nanotechnology Industries Association* o Código Nano, com o objetivo de abordar os impactos sociais e econômicos relacionados com a comercialização da NT.

Dados de 2016 mostram um crescente número de países que agora consideram a NT uma prioridade de pesquisa. Dentre os países que embarcaram nessa nova onda da NT estão, além do Brasil, a Argentina, Azerbaijão, Chile, Croácia, Jordânia, Cazaquistão, México, Marrocos, Nepal, Filipinas, Arábia Saudita, Sérvia, Eslovênia, Sri Lanka e Tunísia, por exemplo. No entanto, como já demonstrado pelos países desenvolvidos, o desenvolvimento da N&N exige um investimento sustentado. Dos 14 países listados acima, apenas a Eslovênia atualmente dedica mais de 1% do Produto Interno Bruto (PIB) a PD&I, (UNESCO, 2015).

2.5 A política de Nanotecnologia no Brasil

As transformações na economia e na política global das últimas décadas veem crescendo e se consolidando por meio da ciência, tecnologia e inovação, sendo que a nanotecnologia e nanociência, um novo patamar de conhecimento, passa a estar em evidência cada dia mais na vida e no cotidiano de todos nós. Nesse contexto, emergem as políticas de N&N no Brasil.

O Brasil construiu nas décadas anteriores, uma estrutura científica de extrema importância para a construção da NT brasileira a partir do ano 2000, e conforme Santos Junior (2013, p.111-112), “os anos de 2000 marcaram definitivamente uma inflexão positiva na política científica e tecnológica brasileira”.

2.5.1 Antecedentes

As ações para desenvolvimento de NT surgem em um cenário histórico de uma política sistemática de desenvolvimento de recursos humanos (RH) em C&T, desde a década de 1960, e infraestrutura de pesquisa com vários laboratórios e empresas públicas orientadas ao desenvolvimento de C&T com foco em problemas nacionais (Fiocruz, Embrapa, Petrobras, CNPq). Por sua natureza interdisciplinar, a NT necessita de uma ampla variedade de capacidades, treinamento e facilidades as quais são fundamentais para sua maturação e constituição de uma base para o desenvolvimento industrial. De acordo com Santos Junior (2013, p.146) “várias empresas, sobretudo estrangeiras, já possuem pedidos de patentes depositados no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), o que denota uma predisposição para criar um sistema de inovação pautado em N&N no Brasil”.

A nanotecnologia aparece pela primeira vez em documento público no Plano Plurianual 2000-2003, sendo que o principal objetivo do programa era expandir e harmonizar a base técnico-científica do Brasil dando importante atenção ao mercado de conhecimento em ciência e tecnologia. Outro objetivo, mas, não menos importante, focar na ampliação da capacidade de inovação, por meio do Programa de Expansão e Consolidação do Conhecimento Científico e Tecnológico (BRASIL, 2000).

Plentz e Fazzio (2013) enfatizam que, ao acompanhar a rápida evolução nessa área, o MCT e CNPq promoveram uma reunião em 22/11/2000 para discutir sobre uma ação coordenada em nanociência e nanotecnologia por parte do Governo Federal. Nessa reunião foi criado um grupo de articulação, que entregou um documento preliminar para

discussão pela comunidade científica nacional. Esse documento sugeria uma série de ações, sendo uma das sugestões mais importantes a de que o MCT/CNPq deveria desencadear um processo coordenado de ações para criar um programa de apoio na área de Nanociências e Nanotecnologias no Brasil. O programa, além de aproveitar os grupos de pesquisa e infraestrutura já existentes, deveria ser de longo prazo, para apoiar pesquisa e desenvolvimento em nanoescala que deixassem levar a resultados de impacto em áreas como tecnologias da informação, fabricação de componentes metálicos e não metálicos, medicina e saúde, meio ambiente e energia, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, agricultura e nanometrologia. Além disso, propôs-se utilizar a estratégia de criação de centros e redes de excelência para um futuro próximo.

Naquele momento, o CNPq respondeu prontamente a algumas recomendações desse documento, e realizou, ainda no ano de 2001, uma chamada para formar redes de pesquisadores com objetivos comuns na área de nanociências, o edital CNPq Nano nº 01/2001, com previsão para a criação de redes de pesquisa em nanotecnologia, contendo uma provisão de R\$ 3 milhões de Reais (DIAS, 2009). Plentz e Fazzio (2013) relatam que o objetivo dessa chamada foi constituir e consolidar redes cooperativas integradas de pesquisa básica e aplicada em nanociências e nanotecnologias, organizadas como centros virtuais de caráter multidisciplinar e abrangência nacional. Descrevem a intenção do CNPq por meio das redes como:

a) dar início a um processo de criação e consolidação de competências nacionais, b) identificar grupos ou instituições de pesquisa que desenvolvam ou possam vir a desenvolver projetos relacionados com a área de nanociências e nanotecnologias, e c) estimular a articulação desses grupos e instituições com empresas potencialmente interessadas ou atuantes no setor, além de seu intercâmbio com centros de reconhecida competência no país e no exterior. Houve uma rápida resposta da comunidade científica brasileira, que rapidamente se organizou para formar diversas redes com os mais variados temas (PLENTZ E FAZZIO, 2013, p.1).

Estes primeiros passos em direção a estabelecer políticas de nanotecnologia no Brasil, capitaneados pelo MCT e com execução pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ocorre através de um processo competitivo de apresentação de projetos para a organização de redes de pesquisa cooperadas para Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia em: (i) materiais nanoestruturados; (ii) interfaces e nanotecnologia molecular; (iii) nanobiotecnologia; e (iv) nanodispositivos semicondutores, e (v) para a criação dos Institutos do Milênio. Como resultado proveniente do Edital MCT/CNPq 01/2001, foram criadas as Rede Nacional de Nanobiotecnologia (NANOBIOTEC), Rede de Materiais Nanoestruturados (NANOMAT), Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e

Materiais Nanoestruturados (NANOSEMIMAT). Nesta mesma época em ação apoiada dentro do programa PADCT financiado pelo Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), o CNPq executa os projetos do Instituto do Milênio, sendo quatro desses Institutos dedicados a NT, todos identificadas no Quadro 1. Foi realizado um aporte financeiro de R\$ 3 milhões, seguido de mais R\$ 22,4 milhões em 2004 e 2005 nas áreas de biopolímeros, materiais nanoestruturados, semicondutores e supercondutores. Em 2002 a CAPES, a partir de uma proposta do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS) lançou o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN), com bolsas de doutorado nas áreas de nanociências e nanotecnologia (N&N), sendo posteriormente extinto como programa isolado (MCTI, 2014).

Quadro 1: Identificação das redes de pesquisa cooperada e Institutos do Milênio

Redes de Pesquisa Cooperada para a Nanotecnologia (continua)	
Nanobiotec	Rede Nacional de Nanobiotecnologia. Coordenada pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), está organizada em três sub-redes: liberação controlada de fármacos (UFRGS), materiais magnéticos nanoestruturados (UnB) e métodos instrumentais em materiais nanoestruturados (EMBRAPA). 33 instituições participantes
NanoSemiMat	Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados. Constituída por cerca de 15 instituições federais e estaduais de ensino e pesquisa inicialmente com sede no Departamento de Física da UFPE, e envolve pesquisadores das seguintes instituições: UFPE, UFC, USP-SP, UFRN, UFAL, UFRGS, Unicamp, UFBA, UnB, USP-São Carlos, PUC-RIO, UERJ, UERN, CEFET-MA, Unesp. Está organizada em quatro sub-redes: materiais semicondutores nanoestruturados, propriedades óticas e de transporte em nanodispositivos e Semicondutores nanoestruturados, nanodispositivos à base de silício e carbetto de silício, semicondutores de banda larga, cerâmicas e polímeros e aplicações de nanodispositivos: sensores óticos e físico-químicos. 17 instituições participantes
Nanomat	Rede de Materiais Nanoestruturados, inicialmente sediada e coordenada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Formada com as seguintes sub-redes: nanoobjetos, semicondutores, nanoestruturas magnéticas, automontagem-polímeros-cerâmica e teoria e simulação. 11 instituições participantes
Renami	Rede de Nanotecnologias Moleculares e de Interfaces, propósito geral de estudar e desenvolver materiais nanoestruturados, interfaces e sistemas de nanotecnologia molecular, através da união de modelos teóricos e técnicas experimentais. Ela é o resultado da fusão de três redes originalmente nucleadas no Departamento de Química Fundamental da UFPE e na COPPE-RJ, no Instituto de Química da USP, e no Instituto de

	Macromoléculas da UFRJ. Em 2002 é assinado acordo entre a RENAMI e a rede de nanotecnologia nucleada no Instituto de Baixas Temperaturas e Pesquisas Estruturais da Academia Polonesa de Ciências, e na Faculdade de Química da Universidade de Wroclaw (Polônia)
Institutos do Milênio dedicados à Nanotecnologia	
Instituto de Nanociências	Recursos iniciais de R\$ 6,2 milhões. Coordenado pela da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), é formado por pesquisadores de 14 instituições participantes: UFMG; CETEC/MG; UFJF; UFRJ; UFF; UERJ; LNLS; FUNREI/MG; ITP/SE; UFBA; PUC/RJ; CNEN; CBPF; UFV. O Instituto pesquisa nanotubos de carbono e sistemas correlatos nanoestruturados, reconhecidos como prioritários para o desenvolvimento tecnológico em microeletrônica, optoeletrônica, fotônica, telecomunicações e bioengenharia.
Instituto do Milênio de Materiais Complexos	Recursos iniciais de R\$ 5,7 milhões. Tem por objetivo o compartilhamento de informações sobre a criação, aperfeiçoamento, conhecimento e aplicação de materiais com propriedades específicas como ópticas, elétricas, mecânicas, entre outras, que possuem grande potencial de aplicação científica ou tecnológica. Gera um banco de dados alimentado por cientistas com ampla experiência na realização de pesquisas e na interpretação de resultados. Instituições Participantes da Rede: UNICAMP, UFRJ, USP, UFPE. Atualmente com sede no Instituto de Química da Universidade de São Paulo, conta com a participação de 19 grupos de pesquisa das seguintes instituições participantes: IQ/USP - Instituto de Química da Universidade de São Paulo - SP UFPE - Departamento de Química Fundamental - PE UNICAMP - Departamento de Eletrônica Quântica - SP UNICAMP - Instituto de Química - SP UFPR - Departamento de Física - PR PUC/RJ - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - RJ UFRJ - Instituto de Química - RJ UFPE - Departamento de Biofísica e Radiobiologia - PE UFC - Universidade Federal do Ceará – CE.
Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microssistemas e Nanoeletrônica	Recursos iniciais de R\$ 5,1 milhões. Tem o objetivo de integrar os grupos de pesquisa da área de microeletrônica existentes nas universidades e as empresas ligadas ao setor, com vistas a gerar novos impulsos à pesquisa em microeletrônica no País, por meio da utilização das atividades numa linha completa de pesquisa, somando os esforços e experiências nos vários aspectos multidisciplinares envolvidos. Instituições Participantes da Rede: UNICAMP, UFRGS, UFPE, USP, UFSC, UnB, UFRJ.
Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos	Recursos iniciais de R\$ 5,4 milhões. Rede coordenada de pesquisadores das áreas de química, física e engenharia, atuando em pesquisas e aplicações de propriedades elétricas e/ou ópticas de materiais poliméricos. Linhas de pesquisa dedicadas especialmente à área de dispositivos eletrônicos, optoeletrônicos, fotônicos e eletroacústicos, e às propriedades de isolamento em redes de distribuição de energia.

Fonte: Preparado pelo autor com dados do CNPq, 2017.

A partir destas propostas iniciais o tema da NT passa a ter mais evidência não somente no contexto das políticas de C&T como também passa a ser notada como área estratégica para estimular o setor produtivo. É com este viés que o MCT implanta o Programa de Desenvolvimento de Nanociência e Nanotecnologia (PDN&N), e torna-se o ator central da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) lançada em março de 2004. O objetivo foi de aumentar a eficácia produtiva da indústria brasileira, por meio da inovação e da distinção de produtos e serviços contemplando pela primeira vez a nanotecnologia como uma das atividades portadoras de futuro (SANTOS JUNIOR, 2013). Na sequência foi lançada a Rede Brasil Nano como um dos elementos do PDN&N em consonância com a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior. A Rede tem como desígnio fomentar o avanço da ciência e da tecnologia, visando o aumento do patamar tecnológico da indústria brasileira, por meio das redes de pesquisa focadas em nanociência e nanotecnologia (BRASIL, 2004).

Nesse contexto foi estruturado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) com uma proposta de orçamento de R\$ 400 milhões até 2011. O PNN foi lançado como ação da Política de Desenvolvimento Industrial (PITCE), sendo que a NT entrou como área estratégica no mesmo PPA, havendo uma sintonia entre os dois documentos marcando o início de ações conjuntas entre MCTI e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). A partir de 2004 as agências de fomento CNPq e FINEP lançam editais com recursos de Fundos Setoriais voltados a projetos para infraestrutura de laboratórios e formação de RH em NT. Nesse momento, há uma significativa produção científica no Brasil, com os temas de manipulação de nanoobjetos, nanoeletrônica, nanomagnetismo, nanoquímica e nanobiotecnologia, incluindo nanofármacos, nanocatálise e estruturas nanopoliméricas (CAPES, 2015).

Estas ações constituíram o primeiro programa nacional com metas de longo prazo, e dado sua relevância é tida como momento fundante dessa política. A PITCE confere amplo destaque a setores difusores de tecnologia, os quais cortam transversalmente a maioria dos setores da economia brasileira, com vistas ao “aumento da eficiência econômica e do desenvolvimento e difusão de tecnologias com maior potencial de indução do nível de atividade e de competição no comércio internacional” (ABDI, 2010). O PNN passa a ser implementado a partir de 2005, e apesar de sua importância por trazer uma ampliação de recursos para as N&N houve, no entanto, questionamentos sobre até que ponto este PNN constituiu uma novidade, pois em seu documento-base trouxe o mesmo texto do programa de nanotecnologia do PPA 2004-2007 (FERNANDES e

FILGUEIRAS, 2008). Seu principal objetivo foi definir estratégias do país para desenvolver nichos de mercado com potencial de competitividade para aplicações da nanotecnologia, da fotônica, da biotecnologia, de novos materiais nanoestruturados e da manufatura avançada. Com vistas ao desenvolvimento industrial da NT a obtenção de novos produtos e processos com nanotecnologias, houve o fortalecimento de redes de pesquisa sobre o tema – a partir das quatro redes iniciadas em 2001 – como também fomentou-se o apoio à cooperação entre universidades, instituições de pesquisa e empresas de base tecnológica, procurando ampliar o acesso da indústria aos desenvolvimentos da tecnologia. Buscava ainda ampliar os investimentos privados nas metas previstas (MCTI, 2014).

O PNN prevê também áreas com a prioridade de investimento na nanotecnologia: saúde e meio ambiente; defesa e segurança pública; energia e mobilidade; agricultura; descoberta inteligente de novos materiais; e mapeamento geológico marinho (BRASIL, 2018), desta forma, o PNN trouxe programas e ações importantes para infraestrutura da NT brasileira, com o aporte de recursos oriundos do FNDCT, através das ações dos FS, (SANTOS JUNIOR, 2013, p.151).

Considerado uma das ações mais amplas da PCTI, o PNN envolve instituições do MCT (LNLS, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Centro de Pesquisas Renato Archer, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Laboratório Nacional de Computação Científica), 70 universidades públicas e particulares, dezenas de empresas e mais de 1.000 pesquisadores qualificados, entre doutores e estudantes de pós-graduação e graduação (MCTI, 2015). Neste contexto do PNN e com o propósito de contribuir para a produção de conhecimento científico e de PD&I nas áreas de fronteira do conhecimento e, de modo transversal, nos setores de ciências médicas, indústria farmacêutica, agroindústria e ciência dos materiais, com o desenvolvimento de NT, é criado em 2005 o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN). Posteriormente, em 2016, este Centro foi relançado através de um novo acordo de cooperação assinado entre os presidentes dos dois países.

Para dar continuidade a PITCE é lançada, em 2008 pelo governo federal, a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) com uma crescente incorporação de agências do governo na execução da política. Nesta política as nanotecnologias apareceram compondo um dos programas estruturantes para o setor produtivo, ao lado de outros setores de elevado conteúdo tecnológico como os de biotecnologia, energia, indústria de saúde e tecnologias da informação. Plano pragmático de ações concretas de

implementação de curto prazo, que teve sua formulação em parceria com o setor privado. Um de seus aspectos fundamentais é elevar a capacidade de inovar e fortalecer as Micros e Pequenas Empresas (MPE), que estavam à margem no PITCE. Como efeito desta política, já no ano seguinte, em 2009, surge o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia (FCN) como ferramenta estratégica para apoiar a discussão e o encaminhamento de iniciativas e programas do segmento nanotecnológico, envolvendo mercado, RH, regulação, e cooperação internacional. O FCN foi promovido pela ABDI, com apoio da Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias do MCTI, formado por representantes do meio empresarial e dos trabalhadores, do setor governamental e a academia (ABDI, 2010).

Tanto a PITCE quanto o FCN foram as ações motrizes para que, já em 2012, o MCTI iniciasse a gênese da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN) que viria a ser efetivamente implantada em 2013. A meta era criar um conjunto de ações integradas para estimular a N&N com o intuito maior de promover o desenvolvimento científico e tecnológico da NT, com foco na inovação. A IBN será apresentada na próxima seção.

É nesse mesmo período em 2012, que face aos desafios de novas fronteiras da ciência, foi criado, no âmbito das ações integradas da IBN, o Sistema Nacional de Nanotecnologia (SisNANO), com uma rede inicial de universidades e institutos de pesquisa, todos da esfera federal e atuantes em várias áreas da nanotecnologia (NT). Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), foi criado o Laboratório Central de Nanotecnologia (LCNano), como entidade de participação da UFPR no SisNANO, com o objetivo de agregar em uma única estrutura institucional, todas as áreas de atuação em NT da UFPR. A implementação do LCNano será tratada mais à frente no capítulo 4 desta tese.

Com o propósito de ampliar a capacidade nacional em NT e estimular as empresas e setor produtivo nesta área, em 2012 é criado o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBC-Nano) pela Portaria MCTI nº 117, de 13 de fevereiro de 2012, destinado a coordenar as atividades envolvendo a cooperação Brasil-China nas áreas de nanotecnologia, com vistas a promover o avanço científico e tecnológico da investigação e aplicações de materiais nanoestruturados, mobilizando, nos dois países parceiros tanto governamentais como empresas instaladas no Brasil para possíveis desenvolvimentos na área de nanomateriais. É esperado que tais projetos contribuam para consolidar e ampliar a pesquisa em nanotecnologia, expandindo a capacitação científica brasileira em NT.

Santos Junior, (2013) destaca os principais fatos sobre a evolução das atividades em N&N no país no que se refere às políticas públicas para o setor:

a) em 2003, o Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia; b) em 2005, O Programa Nacional de Tecnologia, no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior; e c) em 2008, o Programa Nacional de Desenvolvimento Produtivo em que N&N aparecem como componentes estratégicos para o desenvolvimento da produção nacional. Na execução desses planos, é possível observar um conjunto de ações concretizadas pelo CNPq e pela FINEP, que aparecem como as principais iniciativas nacionais em N&N (SANTOS JUNIOR, 2013, p.146).

Todos esses esforços para formar uma política de NT no Brasil estão apoiados em dois estudos prospectivos sobre as N&N que contribuíram para a estruturação de uma agenda com diretrizes e ações de curto, médio e longo prazo vinculado ao desenvolvimento das aplicações de nanotecnologias apontadas como as mais promissoras para o Brasil: (i) “Consulta em Nanociência e Nanotecnologia”: estudo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em 2005, sob demanda do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e (ii) “Visão de Futuro da Nanotecnologia no Brasil: 2008–2025”, organizado e lançado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e CGEE em 2010, (ABDI, 2010). O primeiro estudo prospectivo, o CGEE identificou os “tópicos tecnológicos ou de pesquisa que tiveram melhor avaliação de acordo com três critérios: relevância, competitividade e oportunidade”, identificando competências e demandas de uma localidade em um dado período objetivando a formulação de diretrizes para as políticas de fomento às N&N. O segundo estudo prospectivo, ABDI e CGEE, utilizando dados prévios da primeira prospecção tecnológica, realizou uma nova consulta para a projeção do desenvolvimento dos tópicos tecnológicos entre 2008 e 2025, o que permitiu construir uma proposição de ações, dentre elas a recomendação para a criação de políticas específicas para fomento, gestão e comercialização de bens, produtos e processos relacionados ao tema para integrar a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia. (ABDI, 2010).

2.5.2 A Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia e o Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia

A área de NT no Brasil tem avançado gradativamente a partir das iniciativas de políticas de C&T organizadas nas duas últimas décadas, notadamente pelos investimentos iniciais do MCTI e dos editais das agências de fomento como CNPq, FINEP e CAPES que impulsionaram o desenvolvimento da N&N nas universidades.

O governo federal, através do MCTI, lança em 2013 a Iniciativa Brasileira de

Nanotecnologia (IBN), um conjunto de ações que tem por objetivo criar, integrar e fortalecer as atividades governamentais e os agentes ancorados na nanociência e nanotecnologia, para promover o desenvolvimento científico e tecnológico do setor, com foco na inovação incentivando, assim, as ações nas áreas de N&N com o propósito de aproximar a infraestrutura acadêmica e as empresas, fortalecendo os laços entre pesquisa, conhecimento e setor privado nas áreas de nanotecnologia e nanociências, com vistas ao aumento da competitividade da indústria no Brasil. Um dos seus alicerces é o programa do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), uma rede de 26 laboratórios selecionados a partir de uma chamada pública do MCTI para receber investimentos prioritários em infraestrutura, de modo a fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de nanotecnologias, passando assim a constituir-se em um dos principais programas da IBN (PLENTZ e FAZZIO, 2013).

Esta iniciativa está alinhada com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), tendo como objetivo central colocar ciência, tecnologia e inovação como eixo do desenvolvimento do país. Ressaltou o MCTI, (2013), à época, que daria alta atenção aos setores de tecnologias da informação, biotecnologia e nanotecnologia consideradas fundamentais ao desenvolvimento da base científica brasileira. Nesta ocasião, também foram anunciadas as unidades que comporiam o SisNANO e nas medidas anunciadas ficou claro que estes laboratórios teriam prioridade nas políticas públicas de apoio à infraestrutura e formação de recursos humanos (MCTI, 2012a). No Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras da ENCTI expõem-se os setores priorizados pela IBN:

“[...] temas voltados para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras identificados como prioritários: Saúde e Meio ambiente; Defesa Nacional e Segurança Pública; Energia e Mobilidade; Agricultura; Descoberta Inteligente de Novos Materiais (*Materials Informatics*). Além destes, com base nas competências e vocação nacionais, insere-se o Mapeamento Geológico Marinho” (BRASIL, 2017, p.9).

O plano previa investimentos de aproximadamente R\$ 440 milhões em 2013 e 2014. Para fazer frente aos desafios multisetoriais da NT e à diversidade de ações emanadas do poder público, em 2013 forma-se o Comitê Interministerial de NT (CI) com vistas à governança das políticas de NT. Participam da IBN e do CI vários atores governamentais, como o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações (MCTI), o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Ministério da Defesa (MD), o Ministério da Educação (MEC), o Ministério de Minas e

Energia (MME), o Ministério da Saúde (MS), o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), o Ministério das Relações Exteriores (MRE), a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Apesar da grande abrangência desse plano, segundo dados do próprio MCTIC, os recursos previstos não foram aplicados e não houve resultado prático desta ação nem para estimular as políticas de NT, nem para consolidar a governança destas (CGEE, 2016).

O SisNANO foi criado pela Portaria nº 245 de 05/04/2012 e regulamentado pela Instrução Normativa nº 2, e em seu art. 2º expressa seus objetivos:

I - estruturar a governabilidade para as nanotecnologias; II - desenvolver um programa de mobilização de empresas instaladas no Brasil e de apoio às suas atividades, para atuarem no desenvolvimento de processos, produtos e instrumentação, envolvendo ciência e tecnologia na nanoescala; III - promover no País o avanço científico e tecnológico e a inovação ligados às propriedades da matéria na nanoescala; IV - otimizar a infraestrutura, o desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada e as atividades ligadas à inovação na nanoescala, servindo como suporte ao avanço acelerado do País na área estratégica de nanotecnologias, dotando o País de infraestrutura no mínimo equivalente aos países mais adiantados na área e de formas de operação adequadas à participação de todos os atores relevantes nesse processo; V - consolidar e ampliar a pesquisa em nanotecnologias, expandindo a capacitação científica e técnica necessária para explorar os benefícios resultantes dos desenvolvimentos associados e suas implicações tecnológicas em: nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência e nanotecnologia, processos em nanoeletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos, nanosensores, nanoatuadores e materiais nanoestruturados; VI - universalizar o acesso da comunidade científica, tecnológica e de inovação do País à infraestrutura avançada para produção e caracterização de nanoestruturas e produtos finais, utilizando propriedades da nanoescala e materiais baseados nessas propriedades; VII - capacitar o País a desenvolver programas de cooperação internacional em condições de igualdade com os parceiros atualmente mais desenvolvidos na área, sempre tendo em vista os grandes objetivos nacionais; VIII - desenvolver programas de cooperação internacional junto aos países do Mercosul, objetivando a formação de recursos humanos, à promoção de reuniões conjuntas e à troca de experiências na área de nanotecnologias; e IX - promover a formação, capacitação e fixação de recursos humanos, a educação em nanotecnologias e sua divulgação.

Considerando a importância de incentivos do Governo Federal para o financiamento de projetos e a criação de mecanismos para impulsionar a transferência de tecnologia, o MCTI instaurou programas como o Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC), o Programa Nacional de Sensibilização e Mobilização para a Inovação (PRÓ-INOVA) e os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT), que aliados as entidades de fomento à inovação como o CNPq e FINEP, culminaram com a criação da Lei de Incentivos à Inovação de 2004. Destas iniciativas, deriva a preocupação em integrar o Governo, a Universidade e a Indústria para o desenvolvimento de atividades de

alto valor agregado por meio da consolidação de Incubadoras de Base Tecnológica e Parques Tecnológicos. Em outras palavras, a Incubadora pode ser considerada uma das interfaces da Universidade Empreendedora para gerenciar e comercializar o conhecimento produzido na Universidade (ETZKOWITZ, 2004). Apesar destas ações terem sido concebidas como iniciativas da PCTI para interação universidade-empresa e para promover a inovação, os objetivos do SisNANO estão aderentes a todas estas, e às demais iniciativas de estímulo do Governo Federal para a impulsionar o desenvolvimento da C&T e a difusão tecnológica, conforme demonstrado, de forma sintética, no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Principais ações de CT&I do Governo Federal relacionadas ao SisNANO (período 2004-2016)

Principais ações de CT&I do Governo Federal	
SIBRATEC	Direcionado ao aumento da competitividade das empresas brasileiras, priorizando os setores da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) e os Sistemas Produtivos Locais. Tem o objetivo de gerar e transformar conhecimentos científicos e tecnológicos em produtos, processos e protótipos com viabilidade comercial, tanto para apoiar o surgimento de novas empresas de base tecnológica, quanto para possibilitar o desenvolvimento de inovações, novos produtos ou promover inovações incrementais em produtos, processos e serviços já existentes.
PRO-INOVA	Programa de difusão para a inovação nas empresas coordenado pela Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – SETEC/MCTI. Tem o objetivo de facilitar o acesso às informações sobre benefícios, recursos e gestão da inovação, de promover o desenvolvimento de um ambiente favorável à inovação no País, articulando com entidades empresariais e Instituições Científicas e Tecnológicas a promoção da inovação nas empresas.
INCT	Congregam as unidades de pesquisa de maior excelência no País, e apresentam quatro principais objetivos: realização de pesquisas, investimento em formação de recursos humanos e transferência de conhecimento para a sociedade, e a transferência de conhecimentos para o setor empresarial ou para o governo.
Lei de Incentivos à Inovação – Lei 10.973 / 2014	Estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. Dentre suas disposições destacam-se: - promoção da cooperação e interação entre os entes públicos, entre os setores público e privado e entre empresas; estímulo à atividade de inovação nas Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação (ICTs) e nas empresas, inclusive para a atração, a constituição e a instalação de centros de pesquisa, desenvolvimento e inovação e de parques e polos tecnológicos no País; promoção da competitividade empresarial nos mercados nacional e internacional; incentivo à constituição de ambientes favoráveis à inovação e às atividades de transferência de tecnologia.

Objetivos do SisNANO	
1	Estruturar a governabilidade para as nanotecnologias
2	Desenvolver um programa de mobilização de empresas instaladas no Brasil e de apoio às suas atividades, para atuarem no desenvolvimento de processos, produtos e instrumentação, envolvendo ciência e tecnologia na nanoescala.
3	Promover no País o avanço científico e tecnológico e a inovação ligados às propriedades da matéria na nanoescala.
4	Otimizar a infraestrutura, o desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada e as atividades ligadas à inovação na nanoescala, servindo como suporte ao avanço acelerado do País na área estratégica de nanotecnologias, dotando o País de infraestrutura no mínimo equivalente aos países mais adiantados na área e de formas de operação adequadas à participação de todos os atores relevantes nesse processo.
5	Consolidar e ampliar a pesquisa em nanotecnologias, expandindo a capacitação científica e técnica necessária para explorar os benefícios resultantes dos desenvolvimentos associados e suas implicações tecnológicas em: nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência e nanotecnologia, processos em nanoeletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos, nanosensores, nanoatuadores e materiais nanoestruturados.
6	Universalizar o acesso da comunidade científica, tecnológica e de inovação do País à infraestrutura avançada para produção e caracterização de nanoestruturas e produtos finais, utilizando propriedades da nanoescala e materiais baseados nessas propriedades.
7	Capacitar o País a desenvolver programas de cooperação internacional em condições de igualdade com os parceiros atualmente mais desenvolvidos na área, sempre tendo em vista os grandes objetivos nacionais.
8	Desenvolver programas de cooperação internacional junto aos países do Mercosul, objetivando a formação de recursos humanos, à promoção de reuniões conjuntas e à troca de experiências na área de nanotecnologias
9	Promover a formação, capacitação e fixação de recursos humanos, a educação em nanotecnologias e sua divulgação.

Fonte: Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016/2022 (MCTI, 2018).

O SisNANO é composto por unidades especializadas e multiusuárias de laboratórios, direcionadas a PD&I em nanociências e nanotecnologias. O sistema propõe movimentar as empresas situadas no Brasil apoiando suas atividades, além de fortalecer a infraestrutura já existente e universalizar esse acesso à comunidade científica brasileira. É formado por duas categorias. Os laboratórios estratégicos, ligados ao MCTI e aos órgãos públicos e os laboratórios associados, localizados em universidades e em institutos de pesquisa. Os laboratórios têm livre-arbítrio na intervenção do processo, sendo que as atividades seguirão diretrizes do Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN). O Comitê foi instituído pela Portaria nº 510, de 10 de julho de 2012, conforme o art. 1º da Portaria, o CIN tem como finalidade prestar assessoramento aos Ministérios

representados no Comitê, na integração da gestão e na coordenação, para o aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no País. (MCTI, 2012).

Inicialmente sob responsabilidade da Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias do MCTI, o SisNANO passa a ter suas funções assumidas pela Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (CGTC), da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC), deste mesmo ministério. Foi concebido para ser um projeto de Estado cuja meta era elevar o Brasil à posição de destaque no cenário mundial, no contexto científico, tecnológico e econômico no que diz respeito à geração e utilização da nanotecnologia como um dos principais motores do desenvolvimento econômico e social (MCTI, 2012). Está constituído por uma rede de 26 laboratórios, sendo oito (8) Laboratórios Estratégicos, aqueles subordinados diretamente ao governo federal e alinhados com as oito (8) áreas estratégicas da IBN, (Aeronáutica-Aeroespacial-Defesa, Agronegócios-Alimentos, Energia, Higiene Pessoal-Perfumaria-Cosméticos, Meio Ambiente-Amazônia, Óleo-Gás, Plásticos Nanoestruturados, Saúde Humana), e 18 Laboratórios Associados, aqueles subordinados a instituições científicas e tecnológicas. Os laboratórios que integrarem o SisNANO, todos da esfera pública, terão prioridade nas Políticas Públicas de apoio à infraestrutura de laboratórios e formação de recursos humanos altamente qualificados, de acordo com as diretrizes da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), (MCTI, 2012). O Quadro 3 identifica esses laboratórios.

QUADRO 3: Laboratórios Estratégicos e Associados do SisNANO

LABORATÓRIOS ESTRATÉGICOS	
INMETRO	Laboratório Estratégico de Nanometrologia do INMETRO – atua na caracterização e análise de materiais para a nanotecnologia com interface com o Cemmaq - Centro de Equipamentos Multiusuário de Microscopia e Análise Química-Biológica, também unidade de pesquisa do INMETRO
LNNA/EMBRAPA	Laboratório Nacional de Nanotecnologia Para o Agronegócio – atua no desenvolvimento e aplicação da nanotecnologia com foco no agronegócio, através da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia para o Agronegócio - Rede AgroNan, desenvolve sensores nanoestruturados para avaliação da qualidade de água e alimentos; biosensores para diagnóstico de doença animal;

	nanomateriais para aplicação em fertilizantes, pesticidas e defensivos com liberação controlada e localizada; produção de nanocompósitos de fontes renováveis; plásticos biodegradáveis reforçados com nanofibras para uso em embalagens; coberturas comestíveis nanoestruturadas para revestimentos de frutos
CENANO/INT	Centro de Caracterização em Nanotecnologia em Materiais e Catálise, Instituto Nacional de Tecnologia, atua em nanoquímica, tendo por base as tecnologias químicas orgânica e inorgânica; caracterização de nanoestruturas e materiais nanoestruturados e nanocatalisadores utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV, MEV-FEG) e espectroscopia fotoeletrônica por Raios X (XPS)
LNNano/CNPEM	Laboratório Nacional de Nanotecnologia do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, atua na fabricação e caracterização de nanoestruturas obtidas de fontes renováveis; desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados para as indústrias de metalurgia, petróleo, gás e biocombustíveis; nanocerâmicas e semicondutores; Nanosensores;
LNNANO/CETENE	Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste, tem como missão apoiar o desenvolvimento tecnológico e econômico da região Nordeste e na área de NT atua na pesquisa de nanopartículas metálicas plasmônicas, para a produção de energia química e elétrica por conversão de energia solar; nano foto catalisadores; semicondutores; desenvolvimento de nanopartículas para o setor de saúde como nanocarreadores e bactericidas de nanopartículas de prata
CDTN/CNEN	Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono, atua na síntese e produção de nanoestruturas de carbono como grafenos e nanotubos de carbono, incluindo as etapas de purificação, dispersão, funcionalização e incorporação em matrizes cerâmicas e poliméricas; caracterização de nanomateriais;
LABNANO/CBPF	Laboratório Multiusuário de Nanociências e Nanotecnologia, com sede no Centro Brasileiro de Pesquisas Física é um conjunto de laboratórios, sistemas e serviços abertos à comunidade científica, tecnológica brasileira com ênfase em nanofabricação, incluindo Litografia por Feixe de Elétrons com resolução superior a 20 nm; caracterização de nanopartículas com resolução de 3nm; preparação de nanoestruturas por deposição física de filmes, litografia ótica, nanolitografia por feixe de elétrons e nanolitografia por feixe de íons; formação de recursos humanos em N&N
IPEN/CNEN	Laboratório Integrado de Nanotecnologia, atua na síntese, caracterização e produção de materiais nanoestruturados; rádio fármacos nanoestruturados; membranas nanoestruturadas para encapsular células solares e para transporte de prótons aplicadas em células PEM; nanocatalisadores inorgânicos aplicados a célula a combustível; desenvolvimento de nanocompósitos e nanopartículas magnéticas para aplicações em remediação ambiental; nanosensores ambientais
LABORATÓRIOS ASSOCIADOS	
CNANO/UFRGS	Centro de Nanociência e Nanotecnologia da UFRGS, tem como missão básica desenvolver novos programas de ensino, pesquisa, desenvolvimento tecnológico, extensão e serviços e atua com filmes finos e fabricação de nanoestruturas; caracterização de

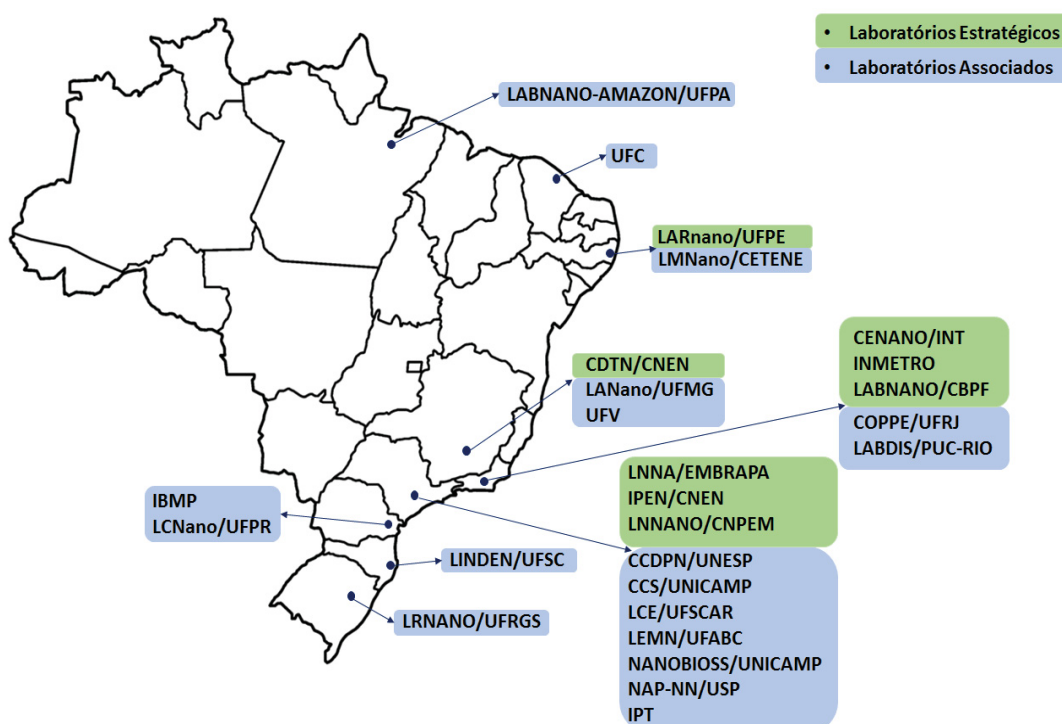
	nanoestruturas cerâmicas e poliméricas; modificação superficial de materiais;
CCDPN/UNESP	Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Protocolos em Nanotecnologia, atua na caracterização de nanomateriais e nanocatalisadores; análise de superfícies em escala nano com perfil de profundidade; capacidade de identificar e quantificar quaisquer elementos químicos em uma superfície, exceto H ₂ e He, de espessura manométrica em até 10nm; nanoquímica com síntese de estruturas orgânicas e inorgânicas
CA/UFC	Central Analítica em Técnicas de Microscopia (Eletrônica e Óptica) da Universidade Federal do Ceará, possui infraestrutura em técnicas analíticas e de microscopia conta com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), de raio-X, Confocal, Raman, de força atômica, óptica de campo próximo, Eletrônica de Transmissão (MET)
NanoBioss/UNICAMP	Laboratório de Síntese de Nanoestruturas e Interação com Biosistemas, atua na avaliação dos riscos da nanotecnologia; produção nanobiotecnológica de nanopartículas de prata; nanomateriais para remediação ambiental de efluentes; síntese em atmosfera inerte, altas temperaturas, produção de filmes, nanonização, encapsulamento, síntese de nanoestruturas usando microorganismos; ensaios de nanotoxicologia; formação de recursos humanos em NT
LCE/UFSCar	Laboratório de Caracterização Estrutural, atua com técnicas de caracterização micro e nanoestrutura dos diferentes tipos de materiais, associadas à microscopia eletrônica de transmissão, de varredura e de sondas; formação de recursos humanos com escola de microscopia eletrônica e microanálise, para profissionais do setor privado e alunos de pós-graduação;
LANano/UFGM	Laboratório Associado de Desenvolvimento e Caracterização de Nanodispositivos e Nanomateriais da UFGM, possui infraestrutura em técnicas analíticas e de microscopia com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Confocal, Raman, de força atômica, óptica de campo próximo, Eletrônica de Transmissão (MET) e atua na síntese caracterização de materiais nanoestruturados; desenvolvimento e fabricação de nanodispositivos;
IBMP/PR	Instituto de Biologia Molecular do Paraná, referência no desenvolvimento de testes moleculares para a Saúde, o IBMP lidera projetos científicos que integram os conhecimentos da Biotecnologia e da Nanotecnologia para gerar novas soluções em diagnósticos para o SUS;
LARnano/ UFPE	Laboratórios Associados em Rede de Nanotecnologias, ensaios, análises e avaliação da conformidade de produtos nanoestruturados, com foco nas nanotecnologias em saúde, meio ambiente, segurança, energia e suas implicações, associados à formação de recursos humanos altamente qualificados;
UFV	Laboratório Associado SisNANO-UFV, nanobio aplicado à agricultura e alimentos;
LABNANO-AMAZON/UFPA	Laboratório de Nanociência e Nanotecnologia da Amazônia, caracterização de materiais nanoestruturados e materiais carbonosos como nanopartículas, nanotubos, grafenos, nanofluidos e materiais afins; Nanobiotecnologia: desenvolvimento de novos fármacos, cosméticos, monitoramento e remediação ambiental;
LEMN/UFABC	Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados da Universidade Federal do ABC, síntese e processamento de materiais

	nanoestruturados, nanodispositivos e nanosensores, modelagem e simulação de nanomateriais, fenômenos e tratamento de superfícies (nanotribologia), armazenamento e geração de energia, técnicas de Caracterização de Nanomateriais, nanocompósitos e biomateriais;
UFRJ/COPPE	Laboratório de Engenharia de Superfícies e Materiais Nanoestruturados da Coppe, fenômenos de transporte em nanoescala com foco em fenômenos de transferência de calor e massa em micro e nanoescala, nanomateriais, nanosistemas, nanoestruturas, nanosensores, síntese de materiais nanoestruturados, nanomodelagem;
LINDEN/UFSC	Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas, atua nos setores de nanotecnologia para empresas startup's, nanoestruturas aplicadas aos desenvolvimento de cosméticos e medicamentos e à melhoria de desempenho de produtos odontológicos, nanopartículas inteligentes para diagnóstico e tratamento em medicina, nanofibras e tecidos especiais funcionalizados, nanodispositivos para coletar e armazenar energia, desenvolvimento de dispositivos de liberação controlada e em tecidos específicos de fármacos/princípios ativos, nanotecnologia para energia, saúde (bionanotecnologia) e fotônica;
IPT	Núcleo Bionanomanufatura/IPT, aplicação de nanotecnologia no desenvolvimento de biosensores nas áreas de saúde e ambiental, microrreatores para a química, técnicas analíticas convencionais miniaturizadas, MEMS, NEMS, metrologia de ultraprecisão no desenvolvimento e diagnóstico dos produtos e processos da bio, nano e microtecnologias, disponibiliza serviços à indústria;
CCS/UNICAMP	Centro de Componentes Semicondutores, infraestrutura completa para nanofabricação, nanomanufatura de nova geração NEMS e MEMS (sistemas eletromecânicos de nano e micro), nanolitografia, deposição de metais, caracterização óptica, elétrica e morfológica de nanomateriais e nanoestruturas, metalização eletrolítica e química, deposição de filmes por vapores químicos, sistemas de corrosão por plasma;
NAP-NN/USP	Núcleo de Apoio à Pesquisa em Nanociências e Nanotecnologia, congrega 10 laboratórios de pesquisa com uma abordagem transdisciplinar da complexidade associada aos nanomateriais e nanosistemas, nanohidrometalurgia magnética – nanopartículas superparamagnéticas, nanobiotecnologia com as enzimas magnéticas, nanofármacos, completa linha de análise e desenvolvimento, particularmente na preparação, funcionalização, compatibilização e caracterização de nanomateriais;
LCNano/UFPR	Laboratório Central de Nanotecnologia da UFPR, nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência e nanotecnologia, processos em nanoeletrônica, nanotoxicologia, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos, nanosensores, nanoatuadores e materiais nanoestruturados;
LABDis/PUC/RIO	Laboratório de Fabricação e Caracterização de Nanodispositivos Semicondutores, síntese, produção e caracterização de nanodispositivos baseados em semicondutores inorgânicos, caracterização de propriedades físicas, químicas e estruturais em nanomateriais e nanoestruturas;

Fonte: preparado pelo autor

Os laboratórios SisNANO estão distribuídos geograficamente de acordo com a representação da Figura 2, que mostra uma concentração dos laboratórios tanto estratégicos quanto associados em apenas três estados: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, todos da região sudeste, que detêm 87% dos laboratórios estratégicos e 60% dos associados. A região sul conta com 25% dos laboratórios associados, e nenhum estratégico, e a região nordeste conta com 15% de laboratórios associados e 13% de estratégicos.

Figura 2: Distribuição geográfica da rede do SisNANO



Fonte: Adaptado de Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022 (MCTIC, 2016)

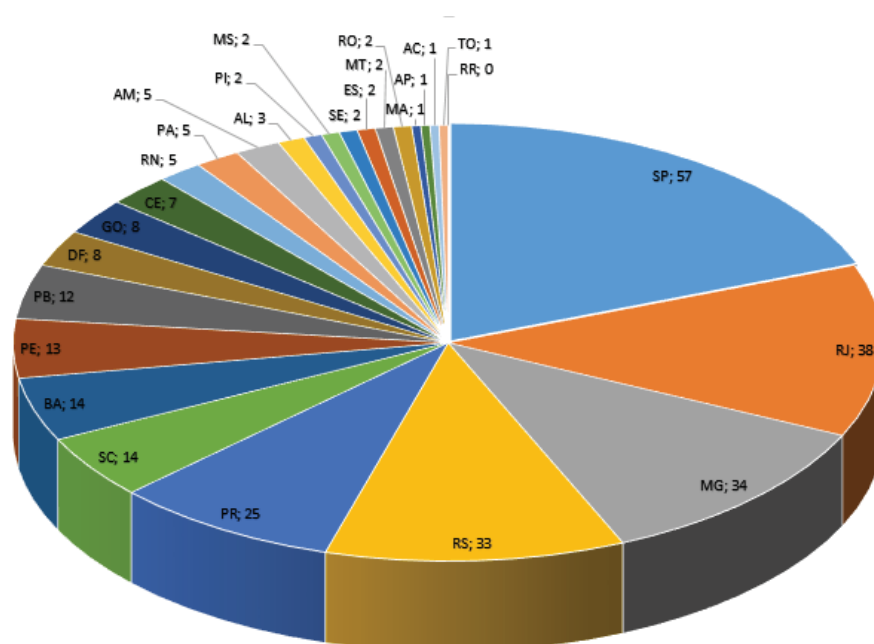
Esse sistema de laboratórios está estruturado nas subáreas: nanofabricação, nanopartículas, instrumentação para N&N, processos em nano e microeletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos e materiais nanoestruturados (SisNANO, 2015). Estas subáreas norteiam o desenvolvimento do SisNANO através das seguintes linhas de ação: (i) consolidar e ampliar a pesquisa em N&N, expandindo a capacitação científica e técnica necessária para explorar os benefícios resultantes dos desenvolvimentos associados e suas implicações tecnológicas; (ii) universalizar o acesso da comunidade científica, tecnológica e de inovação do país à infraestrutura avançada para produção e caracterização de nanoestruturas e produtos finais utilizando propriedades da nanoescala

e materiais baseados nessas propriedades; *(iii)* capacitar o país a desenvolver amplos programas de cooperação internacional em condições de igualdade com os parceiros atualmente mais desenvolvidos na área, sempre tendo em vista os grandes objetivos nacionais; promover a formação e capacitação de recursos humanos, a educação e a divulgação da nanotecnologia. Suas áreas estratégicas, com potencial para o desenvolvimento de produtos nanotecnológicos, estão alinhadas com a Estratégia Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (ENCTI) e o Plano Brasil Maior (MCTI, 2014).

Como definição do programa SisNANO os recursos recebidos pelos laboratórios, prioritariamente do MCTI, têm os objetivos de: *(i)* melhorar a infraestrutura e mantê-los internacionalmente competitivos; *(ii)* permitir a incorporação, fixação e manutenção de corpo técnico-científico de alta qualificação, adequado ao desenvolvimento das missões desses laboratórios e *(iii)* permitir que funcionem de forma aberta, atendendo usuários e instituições dos setores público e privado (MCTIC, 2016).

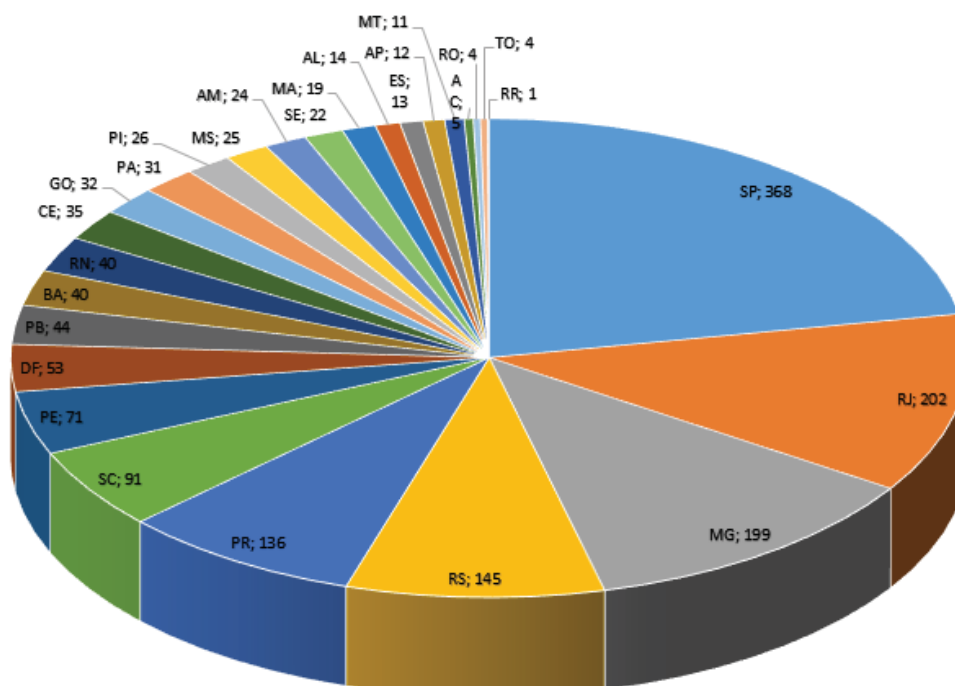
Os Gráficos 1, e 2 abaixo mostram a distribuição dos grupos de pesquisa em N&N no Brasil, detalhando o total de grupos por unidades da federação (UF) nos anos de 2008 e 2018 respectivamente. Em 10 anos, tomando como referência inicial o ano de 2008, antes da implantação do SisNANO, houve substancial acréscimo no total de grupos de pesquisa em N&N registrados no DGP/CNPq. Os dados foram obtidos em consulta realizada na base do DGP/CNPq, em 2018, utilizando as seguintes palavra-chave para as linhas de pesquisa dos grupos: nanoestruturas; nanopartículas; nanomedicina; nanotecnologia; nanotecnologias; nanotoxicologia; nanocompostos; nanocompósitos; nanosensores; nanociência; nanociências; nanomateriais. O Gráfico 3 mostra a participação de cada estado com relação ao total de grupos de N&N no Brasil nos anos de 2008 e 2018. Pode-se observar que o percentual de participação de cada estado com relação ao número de grupos de pesquisa, com exceção do estado de São Paulo que passou de 19% para 22%, não houve aumento significativo, sendo que alguns como o estado da Bahia, tiveram redução no seu percentual de participação de grupos de pesquisa em N&N no cenário nacional. Isto pode significar que as ações do SisNANO não foram determinantes para alterar o mapa da distribuição geográfica da pesquisa em N&N no Brasil. O aumento das participações dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro podem ser explicados pelas ações estaduais de fomento advindas de suas fundações de amparo a pesquisa, FAPESP (SP) e FAPERJ (RJ).

Gráfico 1: Distribuição dos grupos de pesquisa em N&N por UF - 2008



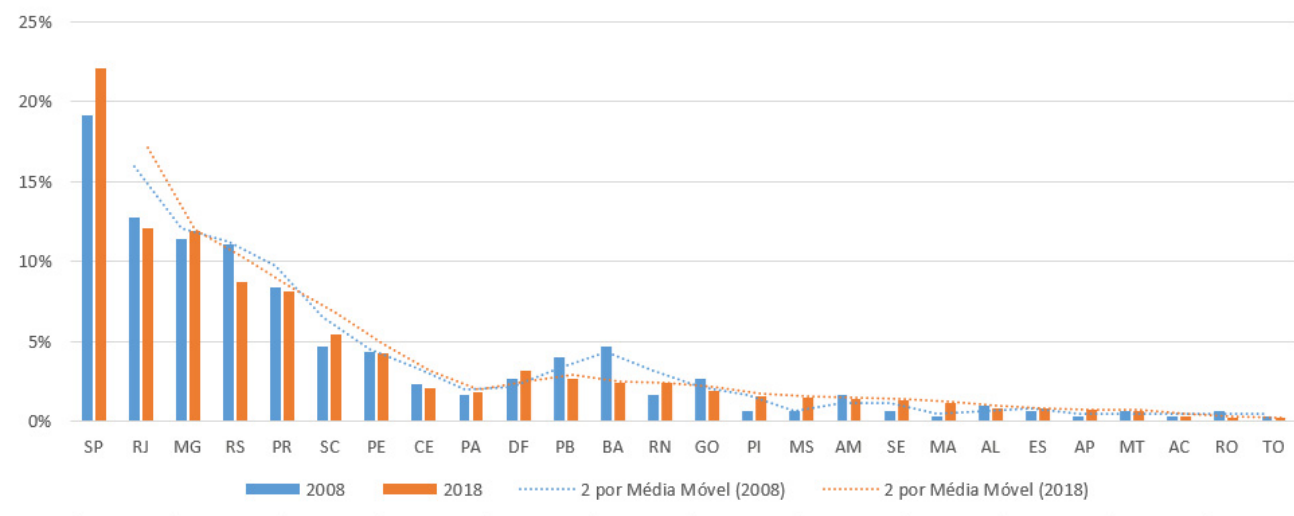
Fonte: Preparado pelo autor com dados obtidos no DGP/CNPq - 2018

Gráfico 2: Distribuição dos grupos de pesquisa em N&N por UF - 2018



Fonte: Preparado pelo autor com dados obtidos no DGP/CNPq - 2018

Gráfico 3: Evolução dos grupos de pesquisa em N&N por UF – período 2008-2018



Fonte: Preparado pelo autor com dados obtidos no DGP/CNPq - 2018

Com o objetivo de fomentar e fortalecer a cooperação entre os laboratórios do SisNANO e o setor produtivo o MCTI aprova em 2014, no âmbito do SIBRATEC, duas novas redes de Centros de Inovação com a participação dos laboratórios do SisNANO. São as redes Centro de Inovação de Nanomateriais e Nanocompósitos e Centro de Inovação de Nanosensores e Nanodispositivos, que passam a integrar o SibratecNANO, e são operacionalizadas pela Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Cada rede contou com R\$ 12 milhões em recursos, provenientes da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), para o fomento de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) a serem submetidos, em fluxo contínuo, por empresas e em parceria com laboratórios do SisNANO.

Em maio de 2016, O governo brasileiro introduziu mudanças significativas na governança da CT&I promovendo a união dos ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação e o das Telecomunicações no Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Esta ação, *per si*, reduziu a dimensão política da CT&I que aliada a uma substancial redução da dotação orçamentária do novo ministério em relação à anterior estrutura do MCTI, traz impactos imediatos, podendo ainda continuar a impactar nas futuras ações e resultados da CT&I para os próximos anos. De imediato esse novo Ministério lança uma nova Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) para o quadriênio 2016-2019, norteando os principais desafios para a política nacional de CT&I: (i) posicionar o Brasil entre os países com maior desenvolvimento em

CT&I; *(ii)* aprimorar as condições institucionais para elevar a produtividade a partir da inovação; *(iii)* reduzir assimetrias regionais na produção e no acesso à CT&I; *(iv)* desenvolver soluções inovadoras para a inclusão produtiva e social; e *(v)* fortalecer as bases para a promoção do desenvolvimento sustentável. A ENCTI também atribuiu prioridades a diferentes setores econômicos e do conhecimento, o que o governo acredita que alavancará o desenvolvimento nacional, não apenas propondo soluções para questões domésticas, mas também porque eles usam o potencial tecnológico, os recursos naturais e a capacidade industrial do país. Estes setores são: defesa, água, alimentos, biomas e bioeconomia, ciências e tecnologias sociais, mudanças climáticas, tecnologias da informação e comunicação (TIC), energia (incluindo nuclear), saúde e tecnologias convergentes e habilitadoras. Importante ressaltar que nesta ENCTI a NT deixa de ser área estratégica isolada e passa a compor o conjunto das tecnologias convergentes.

O país continua a desenvolver o seu Sistema de Tecnologia (SIBRATEC), com o objetivo de apoiar o desenvolvimento tecnológico das empresas brasileiras, incluindo investimento P&D e transferência de tecnologia. Surge nesse cenário um programa facilitador de aprendizagem em equipe, o SibratecShop, com o conceito de um Programa de Laboratório Aberto (PLA) que permite que pessoas de todos os níveis de habilidades usem ferramentas e equipamentos industriais para construir seus próprios projetos e transformar suas ideias em inovações. O PLA é uma associação do MCTIC, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e do Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas Empresas (SEBRAE), (MCTIC, 2016).

A partir dessas mudanças, a política nacional de nanotecnologia passa a ser apoiada nos seguintes eixos estruturantes: *(i)* apoio ao Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologia (SisNANO); *(ii)* fomento ao sistema de redes temáticas de PD&I; *(iii)* estímulo a pesquisa aplicada em Nanotecnologia; *(iv)* proposição, acompanhamento e avaliação de um modelo-piloto de nanosegurança; *(v)* incentivo a ações de internacionalização dos atores públicos e privados de nanotecnologia; *(vi)* fomento a modelos e programas que propiciem a interação entre o setor produtivo e ICTs na área de nanotecnologia (MCTIC, 2016).

O Quadro 4 apresenta uma linha do tempo com os principais marcos da política de nanotecnologia e nanociências no Brasil.

Quadro 4: Principais marcos da política de nanotecnologia e nanociências no Brasil

ANO	EVENTO (continua)
1987	<ul style="list-style-type: none"> ● CNPq investe em projetos para fabricação de semicondutores e tecnologias de deposição de materiais semicondutores em nanoescala.
2000	<ul style="list-style-type: none"> ● Reunião seminal do CNPq/MCT sobre o desenvolvimento futuro da N&N no país
2001	<ul style="list-style-type: none"> ● Primeiras ações com vistas a criar um Programa Brasileiro de Nanociência e Nanotecnologia, iniciando com a formação de quatro redes nacionais para pesquisa cooperativa cujos focos iniciais foram nanodispositivos semicondutores, materiais nanoestruturados, nanobiotecnologia, e nanotecnologia molecular/interfaces, e a formação dos Institutos do Milênio, através de Chamada MCT/CNPq o Instituto de Nanociência, localizado em Minas Gerais, e coordenado por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais, é selecionado
2003	<ul style="list-style-type: none"> ● MCTIC cria Grupo de Trabalho de Nanotecnologia para elaboração do Programa para o Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia (MCT - PPA 2004-2007). RRHH e infraestrutura de pesquisa ● MCTIC institui a Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia, posteriormente nominada Coordenação de Micro e Nanotecnologias e atualmente unidade da Coordenação Geral de Desenvolvimento e Inovação de Tecnologias Estratégicas ● Força Tarefa criada no MCTIC e CNPq para elaborar um Plano Nacional de Nanotecnologia e Nanociências
2004	<ul style="list-style-type: none"> ● Criada a Ação Transversal de Nanotecnologia nos Fundos Setoriais para financiamento de ações em NN ● Lançado o Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, estabelecido no âmbito do Plano Plurianual (PPA) 2004-2007 ● Política Tecnológica, Industrial e de Comércio Exterior – coordenação de política de CTI e industrial ● Instituição da Rede BrasilNano presidida pelo secretário de Políticas e Programas de P&D do MCTIC ● Criado o GT para a implantar do Laboratório Nacional de Micro e NT.
2005	<ul style="list-style-type: none"> ● Início do Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) ● Inaugurado o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), marco inicial do PNN ● Acordo de cooperação que estabelece o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN) ● Selecionadas 10 Redes Nacionais de Nanotecnologia, com atuação prevista para o período 2006-2009
2006	<ul style="list-style-type: none"> ● Início de atividades do CBAN - Comissão Brasil-Argentina de Nanotecnologia ● Chamada MCT/CNPq nº 42/2006 - Programa Nacional de Nanotecnologia - Jovens Pesquisadores ● Chamada MCT/CNPq nº 043/2006, apoio a projetos de melhoria de infraestrutura laboratorial em Nanotecnologia.
2007	<ul style="list-style-type: none"> ● Chamada MCT/CNPq nº 10/2007 - Apoio a atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação, mediante financiamento a projetos que visem dar continuidade ao processo de expansão e consolidação da infraestrutura laboratorial em nanotecnologia ● Chamada MCT/CNPq nº 09/2007, apoiar atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação de Jovens Pesquisadores, visando dar continuidade ao processo de expansão e consolidação de competências nacionais em Nanociência e Nanotecnologia e o avanço do conhecimento na área.

2008	<ul style="list-style-type: none"> ● Inauguração do Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes, construído no campus do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS) ● Lançamento pelo Governo Federal da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em maio de 2008. Integra a PDP o Programa Mobilizador em Nanotecnologia, cuja gestão está a cargo do MCTIC - Crescente incorporação de agências do governo na execução da política de nanotecnologia ● Chamada MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/FAPEMIG/FAPERJ/FAPESP 15/2008 - Institutos Nacionais de Tecnologia. Seleção de oito institutos de nanotecnologia no Norte, Nordeste e Centro-Oeste ● Chamada MCT/CNPq N° 62/2008 - Jovens pesquisadores - Geração de conhecimento por meio do apoio à pesquisa fundamental em Nanociências, fomento à inovação e impulso à aplicações tecnológicas. Investimento Edital FINEP: R\$ 4,3 milhões e três projetos aprovados ● Chamada CAPES 04/CII-2008 Programa de nanobiotecnologia – Rede NANOBIOTEC-BRASIL, apoio no País a realização de projetos conjuntos de pesquisa utilizando-se de recursos humanos e de infraestrutura disponíveis em diferentes IES, institutos de pesquisa, empresas e/ou demais instituições enquadráveis nos termos deste Edital, possibilitando a produção de pesquisas científicas e tecnológicas por meio de formação de recursos humanos pós-graduados e a formação complementar de RH em outros níveis. Total investido de R\$ 70,3 milhões em 38 projetos aprovados
2009	<ul style="list-style-type: none"> ● Chamada MCT/FINEP 05/2009 - apoio a atividades de pesquisa e desenvolvimento de produtos, processos e serviços inovadores em nanotecnologia em cooperação entre instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e empresas. ● Apoio à interação entre grupos e redes de pesquisa e a Petrobras nas questões relacionadas com P&D em Nanotecnologia
2010	<ul style="list-style-type: none"> ● Fórum de Inovação de Nanotecnologia nas Empresas Estatais ● Chamada MCT/CNPq n° 74/2010 - Seleção pública de propostas para apoio à formação de redes cooperativas de pesquisa e desenvolvimento em Nanociência e Nanotecnologia ● Inauguração do Centro de Caracterização em Nanotecnologia (Cenano) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT/MCT) - propostas para a incubação de empresas de nanotecnologia- seleção de gestor de fundo de investimento em empresa emergente (capital de risco) em fase de seleção.
2011	<ul style="list-style-type: none"> ● Chamada MCTI/CNPq n° 21/2011, apoio à execução de projetos conjuntos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em Nanotecnologia no âmbito da cooperação internacional Brasil-México. ● Chamada MCTI/CNPq n° 20/2011, apoio à execução de projetos conjuntos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I) em Nanotecnologia no âmbito da cooperação internacional Brasil-Cuba. ● Chamada MCTI/CNPq N ° 17/2011, apoio à criação de redes cooperativas de pesquisa e desenvolvimento em Nanotoxicologia e Nanoinstrumentação
2012	<ul style="list-style-type: none"> ● Criado o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBC-Nano), ● Chamada CNPq/FWO N ° 52/2012 Programa de Cooperação entre o CNPq e a Fundação de Pesquisa Flandres (FWO) da Bélgica. Apoiar projetos conjuntos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I), no âmbito do Programa de Cooperação CNPq e a Fundação de Pesquisa Flandres (FWO) da Bélgica, em uma ou mais áreas abaixo: Biotecnologia; Microeletrônica; Nanotecnologia; Pesquisa Aeroespacial; Energia Nuclear; Ciências Ambientais; Ecologia; Ciências Agrárias; e · Ciências da Saúde

	<ul style="list-style-type: none"> ● Chamada MCTI/CNPq N ° 16/2012, apoio financeiro a projetos que visem dar continuidade ao processo de expansão e consolidação de competências nacionais em nanotecnologia
2013	<ul style="list-style-type: none"> ● Lançada a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), uma ação articulada pelo MCTIC, interministerial e envolvendo vários atores governamentais ● Chamada N°13/2013 Cooperação MCTI-CNPq/DST (Índia), apoio a projetos conjuntos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I), no âmbito da Cooperação MCTI-CNPq/DST, em um dos temas abaixo: a) Tecnologias da Informação e Computação; b) Geociências, incluindo Oceanografia e Mudanças Climáticas; c) Engenharia, Ciência dos Materiais e Nanotecnologia; d) Ciências da saúde e biomédicas; e) Matemática; e f) Energias renováveis, eficiência energética, e tecnologias de baixo carbono. ● Chamada N°09/2013 - CNPq/JST - Programa de Cooperação entre o CNPq e a Agência Japonesa de Ciências e Tecnologia (JST), apoio a projetos conjuntos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I) em nanobiotecnologia, no âmbito do Programa de Cooperação CNPq e a Agência Japonesa de Ciência e Tecnologia (JST) ● Chamada MCTI/CTBIOTEC/CNPq N ° 28/2013, financiamento de projetos de P, D & I na área de Engenharia de Sistemas Biológicos que visem: I - Formar e incrementar grupos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico em áreas de fronteira do conhecimento, incluindo genomas inteiramente novos, modificação de rotas metabólicas, desenvolvimento de novas moléculas e novas metodologias diagnósticas. II - Formar recursos humanos qualificados para atuar na indústria nacional nos seguintes temas: a) biologia sintética; b) engenharia de bioprocessos; c) nanobiotecnologia; e d) enzimas para digestão de celulose. III - Contribuir para os avanços do conhecimento, para a geração de produtos e processos tecnológicos de alto valor agregado, de forma sustentável e ambientalmente responsável. ● Chamada MCTI/CNPq/CBAB N° 58/2013 Seleção Pública de Proposta de Cursos para Formação de Recursos Humanos em Biotecnologia – CBAB, apoio a cursos na área de biotecnologia, em nível de pós-graduação, nos seguintes temas: 1. Ecologia e diversidade microbiana 2. Plataformas avançadas de sequenciamento de DNA, com ênfase em seleção genômica; 3. Análise global de expressão gênica: transcriptômica, proteômica e metabolômica; 4. Bioinformática; 5. Biotecnologia agropecuária e aquicultura, incluindo estresses bióticos e abióticos; 6. Desenvolvimento inovador de vacinas, fármacos e métodos de diagnóstico de enfermidades humanas, animais e vegetais; 7. Bioprocessos: <i>scaling up & downstream processing</i>; 8. Biotecnologias de células-tronco: desenvolvimento e aplicações; 9. Biocombustíveis de segunda e terceira geração; 10. Biosensores e biorremediação; 11. Biocontrole e bioinoculação; 12. Aspectos inovadores da interação microrganismo-hospedeiro; 13. Técnicas para análise, conservação e uso de recursos genéticos; 14. Aplicações tecnológicas de biomateriais; 15. Neurobiotecnologia; 16. Biossegurança e manejo de biotérios; 17. Biomarcadores em saúde humana; 18. Biologia sintética; 19. Produção de proteínas recombinantes; 20. Nanobiotecnologia ● Chamada de Projetos CNPq / MIT n° 88/2013 - Programa de Cooperação CNPq / Massachusetts Institute of Technology – MIT, apoio a projetos conjuntos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I), no âmbito do Programa de Cooperação CNPq/Massachusetts Institute of Technology - MIT, em um ou mais dos temas abaixo: Engenharias e demais áreas tecnológicas; Ciências Exatas e da Terra: Física, Química, Geociências; Biologia, Ciências Biomédicas e da Saúde; Computação e Tecnologias da Informação; Tecnologia Aeroespacial; Fármacos; Produção Agrícola Sustentável; Petróleo, Gás e Carvão Mineral; Energias Renováveis; Tecnologia Mineral; Tecnologia Nuclear; Biotecnologia; Nanotecnologia e Novos Materiais; Tecnologias de Prevenção e Mitigação de

	Desastres Naturais; Tecnologias de transição para a economia verde; Biodiversidade e Bioprospecção; Ciências do Mar; Indústria Criativa; Novas Tecnologias de Engenharia Construtiva; e Formação de Tecnólogos.
2014	<ul style="list-style-type: none"> ● Lançamento do SibratecNANO – Centros de Inovação em Nanotecnologia, composto por duas redes específicas: Rede de Centro de Inovação em Nanomateriais e Nanocompósitos e a Rede de Centro de Inovação em Nanodispositivos e Nanosensores. Inicialmente cada rede conta com recursos da ordem de R\$ 12 milhões para financiar projetos. Está a cargo da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – FUNDEP, atuando como instrumento de aproximação, articulação e financiamento de projetos cooperativos entre micro, pequenas, médias e grandes empresas e 23 dos laboratórios que fazem parte do SisNANO. ● Chamada CNPq/ANVISA Nº 05/2014 - Desenvolver pesquisas em Vigilância Sanitária que venham a suprir lacunas do conhecimento sobre temática específica: Políticas, organização e gestão do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e Objetos de intervenção nas áreas de medicamentos, alimentos, serviços de interesse à saúde, laboratórios de Saúde Pública, sangue, tecidos, células, órgãos e nanotecnologia em produtos de interesse à saúde. ● Chamada MCTI/CNPQ/CBAB Nº 20/2014, apoio a cursos na área de biotecnologia, em nível de pós-graduação, nos seguintes temas: 1) Ecologia e diversidade microbiana 2) Plataformas avançadas de sequenciamento de DNA, com ênfase em seleção genômica 3) Análise global de expressão gênica: transcriptômica, proteômica e metabolômica 4) Bioinformática 5) Biotecnologia agropecuária e aquicultura, incluindo estresses bióticos e abióticos, bioinoculação e biocontrole 6) Desenvolvimento inovador de vacinas, fármacos e métodos de diagnóstico de enfermidades humanas, animais e vegetais 7) Bioprocessos: <i>scaling up & downstream processing</i> e produção de proteínas recombinantes 8) Biotecnologias de células-tronco: desenvolvimento e aplicações 9) Biotecnologia industrial, incluindo química verde 10) Biotecnologia ambiental 11) Aspectos inovadores de interação microrganismo-hospedeiro 12) Técnicas para análise, conservação e utilização de recursos genéticos 13) Aplicações tecnológicas de biomateriais 14) Biossegurança e avaliação de riscos, incluindo biotérios 15) Biomarcadores 16) Biologia sintética 17) Métodos alternativos à experimentação animal para avaliação toxicológica 18) Nanobiotecnologia 19) Biosensores 20) Terapia gênica 21) Empreendedorismo e gestão da inovação em biotecnologia
2015	<ul style="list-style-type: none"> ● Construção e instalação da UNITEC, primeira fábrica privada de semicondutores em escala nano no hemisfério Sul a atuar em todas etapas de produção. Foram aportados R\$ 207 milhões concedidos pela FINEP, por meio do BNDES, de um total de R\$ 1 bilhão de investimentos realizados ● Programa de Cooperação SisNANO-INL. Estímulo ao desenvolvimento de projetos colaborativos de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia, com ênfase em nanofabricação entre o LABNANO/CBPF, Laboratório estratégico do MCTI/ SisNANO e demais laboratórios do SisNANO e o Laboratório Internacional Ibérico de Nanotecnologia (INL). ● Chamada FINEP e Conselho Norueguês, destinada a projetos de empresas nas áreas de energia, nanotecnologia, petróleo, gás e etanol
2016	<ul style="list-style-type: none"> ● Relançamento do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN), que fora estabelecido no ano de 2005, foco em NT nos setores de ciências médicas, indústria farmacêutica, agroindústria e ciência dos materiais ● Chamada CNPQ/MCTIC/CBAB Nº13/2016, apoio financeiro a cursos em nível de pós-graduação aplicado em temas avançados em biotecnologia, de interesse para o Brasil, Argentina e Uruguai, no âmbito do Centro Brasileiro-Argentino de Biotecnologia (CBAB), nos temas: 1. Biotecnologia aplicada à saúde animal e humana, incluindo testes toxicológicos; 2. Biotecnologia agropecuária e aquicultura; 3. Biotecnologia ambiental; 4. Biotecnologia industrial; 5. Temas

	específicos: biologia sintética, empreendedorismo e gestão da inovação, biossegurança e avaliação de riscos, incluindo biotérios, nanobiotechnologia , bioinformática, ciências ôhmicas e edição genômica com ferramenta de CRISPR.
2017	<ul style="list-style-type: none"> ● Chamada FINEP Programa de Investimento em Startups Inovadoras 2ª Rodada, apoio a empresas nos temas: Agritech; BIM - <i>Building Information Modeling</i>; Biotecnologia; <i>Blockchain</i>; Cidades Sustentáveis; Defesa; Economia Criativa - jogos eletrônicos; Educação; Energia; <i>Fintech</i>; <i>Healthtech</i>; Inteligência Artificial; Internet das Coisas - IoT; Manufatura avançada; Microeletrônica; Mineração; Nanotecnologia; Petróleo, gás e etanol; Química; Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Realidade Mista ● Chamada do consórcio internacional INCOBRA (<i>Increasing International STI Cooperation between Brazil and the European Union</i>), apoio financeiro aos participantes do INCOBRA <i>Brokerage Event</i> com o objetivo de criar um espaço de <i>networking</i> entre empresas e atores de inovação do Brasil e União Europeia (UE), voltados às áreas de manufatura avançada e nanomateriais

Fonte: Preparado pelo autor com dados publicados pelo CNPq, FINEP, CAPES, MCTIC, ABDI.

2.5.3 Investimentos nacionais em NT

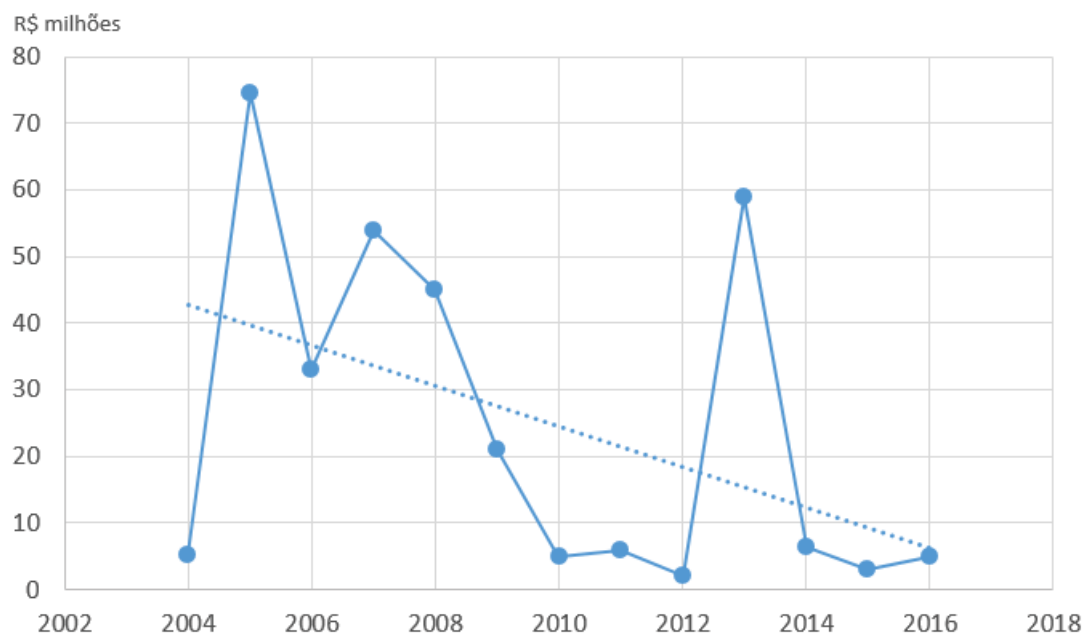
Desde o ano de 2001, o governo brasileiro vem empreendendo esforços para a consolidação de um programa nacional para o desenvolvimento e a disseminação das N&N. Para o período inicial de 2001 a 2003, as iniciativas públicas resultaram em investimentos no valor de R\$ 3 milhões apenas, e não foram encontrados dados registrados sobre possíveis investimentos do setor privado nesse período. A Tabela 1 mostra os investimentos públicos, no Brasil, no período entre 2004 e 2014, representados no Gráfico 4. O Gráfico 5 mostra a distribuição desses recursos, no mesmo período, por região do país. Os dados mostram uma forte redução dos investimentos entre 2007 e 2012, o que pode ser explicado, em parte, devido ao contingenciamento dos Fundos Setoriais integrantes do Sistema Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (SNDCT), principal mecanismo de financiamento para C&T no Brasil, e em particular para a NT. A retomada dos investimentos em 2013 e nova queda significativa em 2014 a 2016, também coincidem com menor e maior contingenciamento desses fundos setoriais (MCTI, 2016). Segundo dados da ABDI os investimentos do setor privado totalizaram o valor de R\$ 160 milhões de reais no período de 2004 a 2010 (ABDI, 2010).

Tabela 1: Investimentos públicos em N&N no Brasil – 2004 a

Região	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Sudeste	5.955.849	52.512.911	24.691.955	32.032.085	17.941.896	12.404.735	2.219.700	3.837.368	1.475.087	37.879.992	5.465.470	2.523.150	4.150.600
Sul	641.242	5.531.407	6.100.714	12.182.811	6.553.910	3.854.601	1.212.000	1.556.536	271.308	14.684.176	429.600	210.450	545.800
Nordeste	402.500	13.124.534	1.025.888	1.772.538	19.653.192	4.518.076	998.960	241.412	0	4.200.000	133.200	85.000	115.200
Centro-Oeste	0	3.074.077	516.100	7.486.973	933.169	0	319.400	119.762	296.933	1.006.000	177.530	110.500	143.000
Norte	0	15.000	50.000	136.650	229.485	0	299.640	0	0	1.100.000	66.000	45.000	58.900
Total	6.999.591	74.257.929	32.384.657	53.611.057	45.311.652	20.777.412	5.049.700	5.755.078	2.043.328	58.870.168	6.271.800	2.974.100	5.013.500

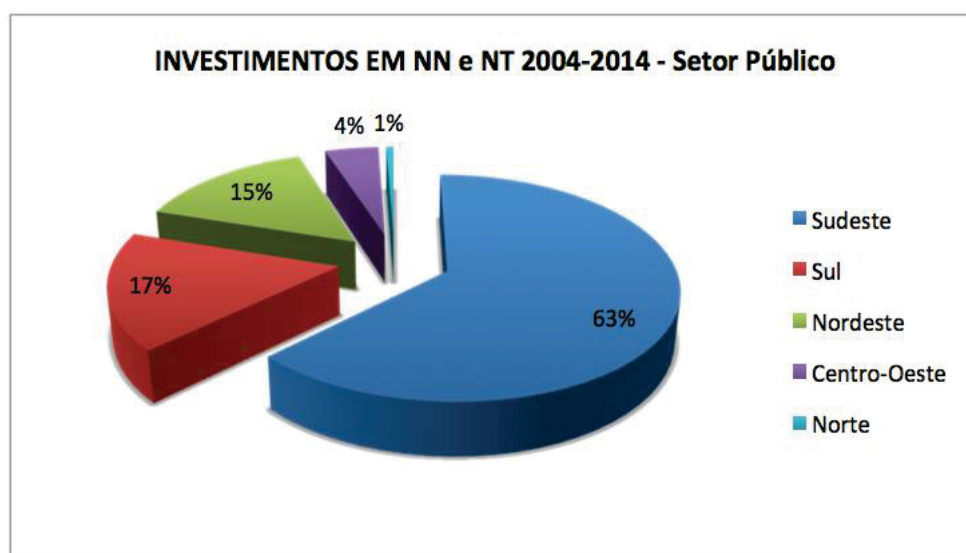
Fonte: MCTI – Relatório de Área, Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias, 2016

Gráfico 4: Investimentos públicos em N&N no Brasil – 2004 a 2016



Fonte: MCTI – Relatório de Área, Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias, 2015

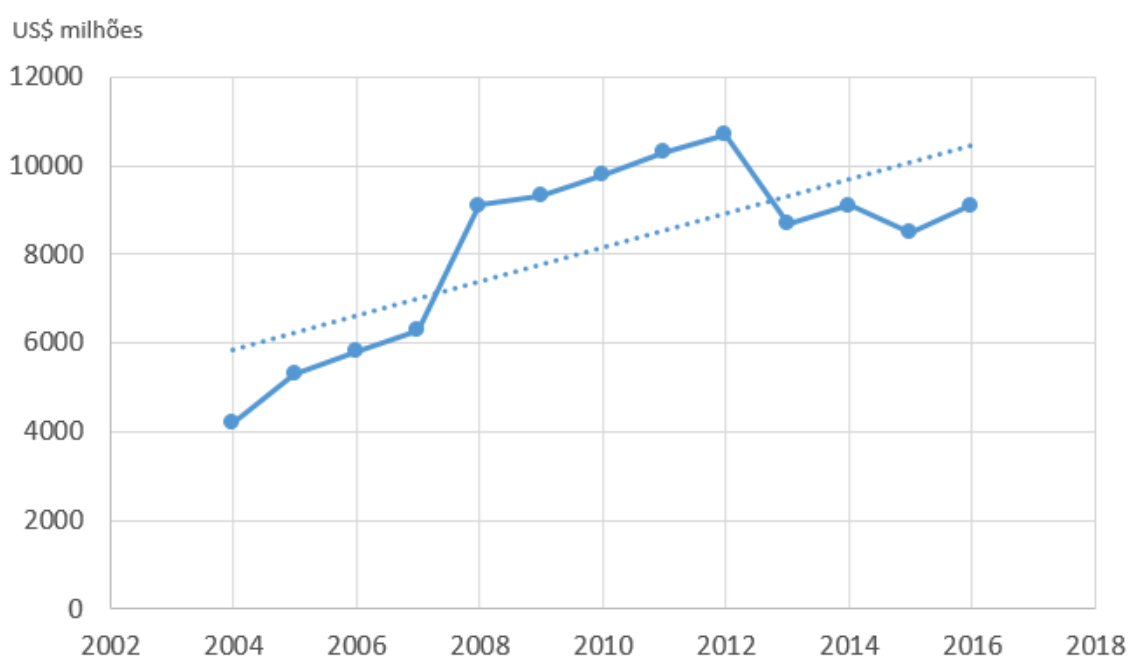
Gráfico 5: Investimentos públicos em N&N no Brasil – distribuição por região, 2004 a 2016



Fonte: MCTI – Relatório de Área, Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias, 2015

Se observarmos no cenário global os investimentos em NT para o mesmo período analisado no contexto brasileiro, os valores de investimentos para a NT no mundo mostram uma tendência de alta nesse período, enquanto que os investimentos em NT no Brasil apresentam uma tendência de baixa nesse mesmo período. O Gráfico 6 apresenta os investimentos globais realizados em NT no período de 2004 a 2016 para os países desenvolvidos (NNI, 2017).

Gráfico 6: Investimentos globais em N&N, 2004 a 2016



Fonte: Annual Report for the National Nanotechnology Initiative (NNI), 2017.

A dimensão desses investimentos em NT no Brasil, é pouco significativa no contexto global, mesmo considerando países de economias emergentes como a Índia. Isto pode traduzir em uma reduzida taxa de transferência de tecnologia e uma menor capacidade de desenvolvimento da NT no Brasil. Em uma comparação neste contexto global, enquanto o Brasil, em 10 anos (2004-2014), investiu em NT R\$ 309 milhões, e sendo o valor investido em 2014 equiparado ao de 2004, a China investiu somente em 2014 US\$ 2,4 bilhões, a Rússia US\$ 1,8 bilhão e a Índia US\$ 200 milhões.

Outro indicador que pode ser relacionado aos investimentos em NT, é medir a capacidade das nações de capitalizar a P&D em nanotecnologia. Ao combinar dados macroeconômicos, como competitividade global, a qualidade das instituições científicas,

a capacidade de inovação e os valores investidos tanto pelos governos quanto pelas empresas em P&D com vários outros fatores relevantes, pode-se mensurar um Fator Emergente de Exploração de Tecnologia (FEET), que pode ser traduzido como uma medida do impacto econômico de tecnologias emergentes e a eficiência e capacidade de transformação do financiamento de tecnologia na economia daquele país (CIENTIFICA, 2011). Em geral, os países mais desenvolvidos como os EUA, Alemanha, Coreia do Sul e Japão têm a combinação de excelência acadêmica, fortes empresas de base tecnológica, uma força de trabalho qualificada e geram mais facilidades para a disponibilidade de capital em estágio inicial, o que garante uma transferência efetiva de tecnologia.

Se considerarmos esta habilidade dos países em explorar tecnologias emergentes, em uma escala de zero a cinco, os EUA aparecem com 5, Alemanha 4,93, Japão 4,88, Coreia do Sul 4,60, Índia 3,95 e Rússia 3,57. O impacto econômico das NT em relação a uma escala de 100 baseada na economia dos EUA, a China tem 89, Rússia 83, Alemanha 30, Coreia do Sul 25 e Índia 5. O Brasil não aparece com dados mensuráveis tanto para habilidade quanto para impacto econômico (CIENTIFICA, 2011).

2.5.4 Resultados alcançados

A partir dos anos 2000, de acordo com Invernizzi (2011), no Brasil houve um rápido desenvolvimento de recursos humanos na área de NT, passando de 192 pesquisadores em 2001, para aproximadamente 3300 pesquisadores em 2010, incluindo aqui 2000 alunos de pós-graduação. Esses números foram atualizados para o ano de 2019 com base nos dados obtidos pela plataforma Lattes, com 5705 pesquisadores, dos quais 3148 são doutores (LATTES, 2019). Esta evolução também aparece representada no Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP), em 2019, com 3502 pesquisadores em 469 grupos em N&N, em 24 estados e 104 instituições de pesquisa. Por outro lado, segundo dados da Pesquisa de Inovação (PINTEC) o número de empresas com alguma escala de produção de NT era de apenas 66 empresas em 2011, chegando a 133 em 2014, todas concentradas nas áreas de química e fármacos. As empresas que produziam NT e fizeram P&D ao mesmo tempo foi mais reduzido ainda, sendo 24 empresas em 2011 e apenas 32 empresas em 2014. De acordo com a amostra das empresas respondentes às estas duas pesquisas, a taxa geral de inovação ficou situada em aproximadamente 36% do total das empresas em ambas as pesquisas, (IBGE, 2013; IBGE, 2016).

Outro avanço considerável está na produção científica e tecnológica. Os gráficos 7, 8 e 9, com dados obtidos da plataforma LATTES/CNPq e do Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP/CNPq), mostram respectivamente o crescimento em número de projetos financiados, as produções técnicas, publicação em periódicos e no Gráfico 10 a concentração por área dos resultados dos projetos. Nota-se um maior crescimento a partir dos anos 2001, coincidindo com o início da política de NT no país. De acordo com dados publicados pelo MCTIC, a economia brasileira, em consonância com maior estabilidade da economia global, aliada a uma expressiva valorização das commodities brasileiras com sucessivos aumentos de produção do agronegócio brasileiro, experimentou uma taxa de crescimento, até 2011, capaz de impactar a dinâmica dos vários setores da economia nacional. Com isto, nesse mesmo período, também cresceu o montante de recursos financeiros dedicados ao FNDCT, e consequentemente aos seus vários fundos setoriais ampliando a oferta de recursos para a C&T. Com essa nova onda de crescimento, a NT é elevada como área estratégica nos planos plurianuais do MCTIC. Por outro lado, a partir de 2011, a economia brasileira, de acordo com esses dados publicados, entra em um período sem crescimento, o que leva a estagnação dos recursos financeiros do FNDCT, aliado ao fato de que esses mesmos recursos tem uma maior parcela de contingenciamento, diminuindo a oferta de recursos para a C&T (MCTIC, 2018).

Isto é corroborado pelo Relatório de Avaliação da Política Pública dos Fundos Setoriais promovida pela FINEP, de autoria do Senador Otto Alencar, aprovado pelo Senado Federal Brasileiro em novembro de 2018, e que aponta utilização inadequada de fundos setoriais (SENADO, 2018). O uso indiscriminado desses fundos específicos para quaisquer outras despesas pelos governos foi criticado pelo Senador que também é presidente da Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT).

O Senador afirma que a FINEP, ao longo de 50 anos, tem apoiado estudos, projetos e programas de interesse para o desenvolvimento econômico, social, científico e tecnológico do Brasil, incluindo todo o período de vigência dos fundos setoriais desde que foram criados. Porém ressaltou que é o contingenciamento dos recursos dos fundos, determinado pelo governo e que teve substancial aumento a partir de 2010, é o que mais tem prejudicado o trabalho da FINEP, e como consequência direta toda a área de C&T brasileira. Cabe ressaltar a promulgação da Emenda Constitucional nº 95, que foi publicada em 15 de dezembro de 2016 e instituiu o Novo Regime Fiscal no âmbito dos Orçamentos Fiscal e da Seguridade Social da União, que dentre as restrições ali reguladas,

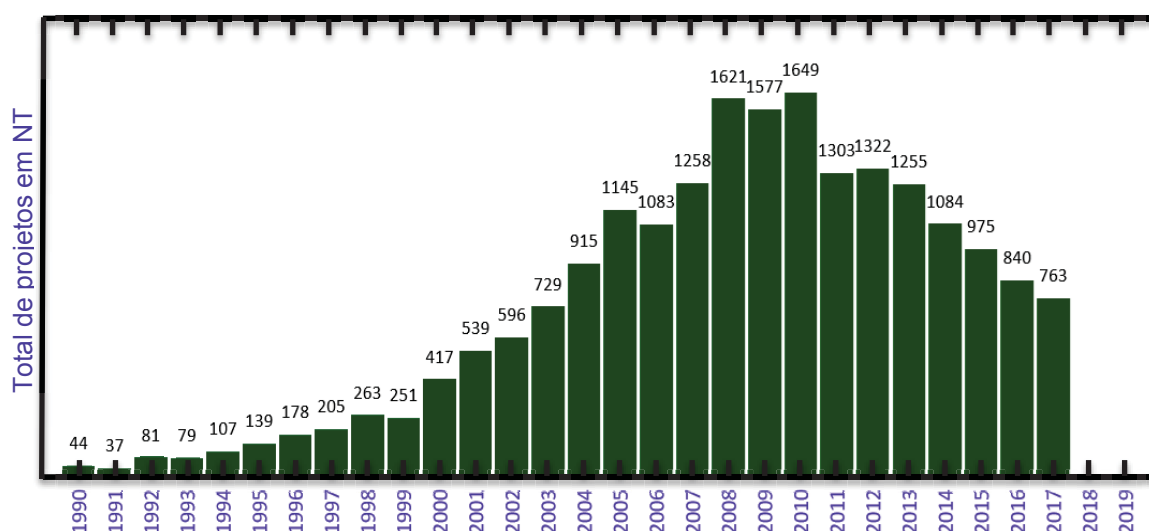
existem várias que podem gerar impactos diretamente sobre a C&T e no desenvolvimento tecnológico e inovação no Brasil (SENADO, 2018).

Segundo Otto, em termos econômicos, o governo que encerrou-se em 2018 entregou o país ao próximo governo, com uma situação melhor do que recebeu do governo anterior. No entanto, em termos de ciência e tecnologia, foi aquém de todos os governos que o antecederam (SENADO, 2018).

Ainda neste relatório, o autor é mais incisivo ao relatar:

Essa Emenda Constitucional 95, do controle dos gastos, acabou de liquidar todos os investimentos que poderiam ser feitos para a ampliação da pesquisa, da ciência, da tecnologia, para que este país, com tantas boas cabeças que tem, com tanta inteligência, com tanta gente querendo trabalhar e desenvolver pesquisa, chegasse a um patamar bem melhor do que nós estamos encerrando agora. Então esse é um dos pontos mais negativos do governo do atual presidente Michel Temer.

Gráfico 7: Evolução do número de projetos financiados em NT

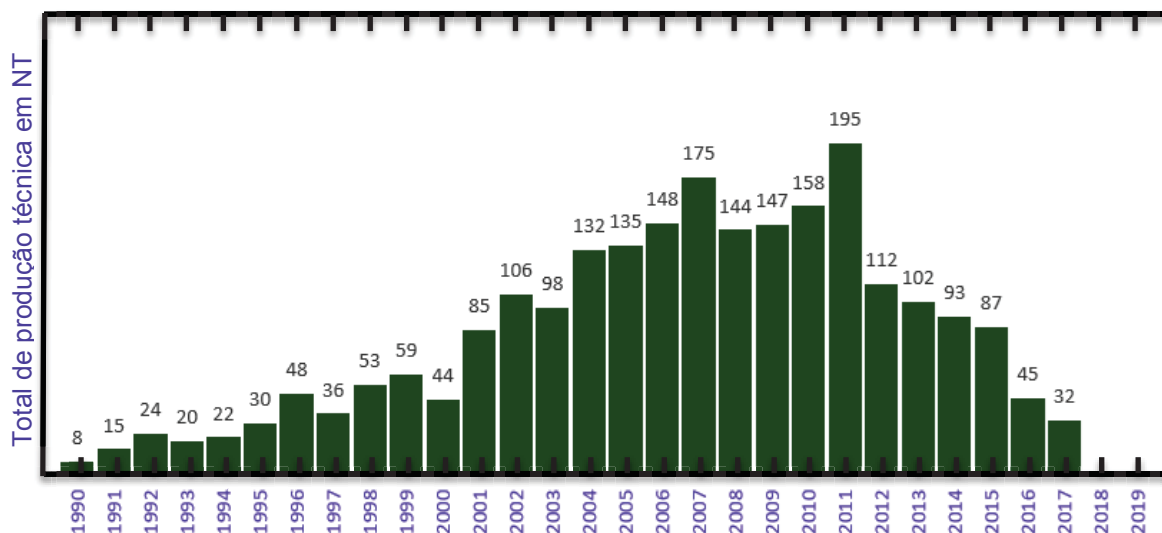


Fonte: VOSviewer©. Arquivo gerado automaticamente por scriptLattes V8.09, dados Plataforma Lattes e DGP-CNPq, 2019, (MENA-CHALCO e CESAR-JR, 2009).

Neste gráfico 7 pode-se observar um contínuo crescimento no desenvolvimento da NT no Brasil, a partir da década de 1990, representado pelo total de projetos de pesquisa direcionados para a N&N. Há um crescimento mais rápido a partir dos anos 2000 que pode estar relacionado com o início das políticas de NT com o PNN e a IBN. A partir de 2010 a tendência apresentada é de baixa com forte redução no financiamento de projetos para a NT, o que coincide com o período de estagnação e declínio da economia brasileira conforme explicado acima. Tanto o crescimento mais expressivo nos anos 2000 como este acentuado declínio a partir de 2010 são refletidos também na produção técnica

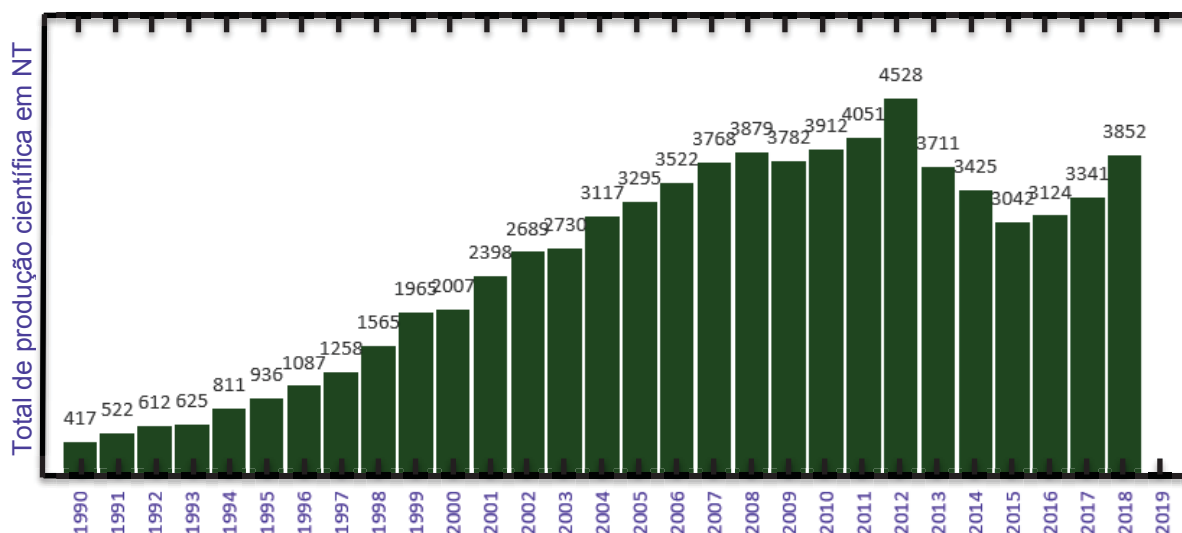
em NT dos projetos financiados como na publicação de artigos científico em periódicos, conforme observado nos gráficos 7, 8 e 9.

Gráfico 8: Evolução das produções técnicas dos projetos em NT no Brasil



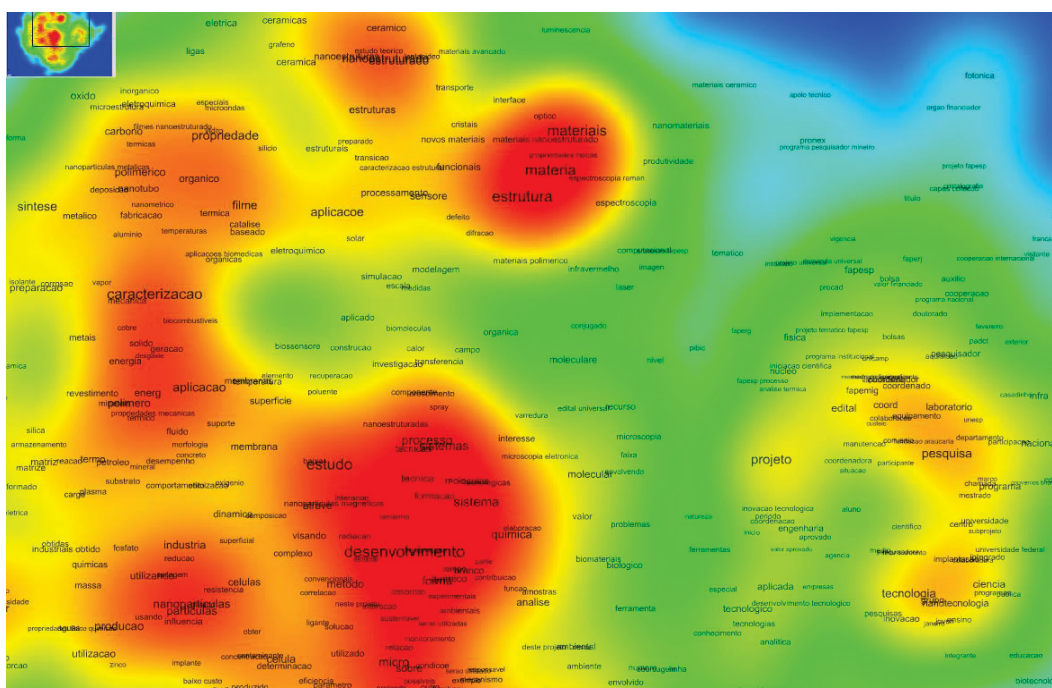
Fonte: VOSviewer©. Arquivo gerado automaticamente por scriptLattes V8.09, dados Plataforma Lattes e DGP-CNPq, 2019, (MENA-CHALCO e CESAR-JR, 2009).

Gráfico 9: Evolução da produção científica em NT no Brasil, publicações em periódicos



Fonte: VOSviewer©. Arquivo gerado automaticamente por scriptLattes V8.09, dados Plataforma Lattes e DGP-CNPq, 2019, (MENA-CHALCO e CESAR-JR, 2009).

Gráfico 10: Áreas de resultado dos projetos de pesquisa em NT no Brasil, 2004-201



Fonte: VOSviewer©. Arquivo gerado automaticamente por scriptLattes V8.09, dados Plataforma Lattes e DGP-CNPq, 2019, (MENA-CHALCO e CESAR-JR, 2009).

O gráfico 10 mostra que as principais áreas que emergiram com a NT no Brasil, no período de 2004 a 2014 foram as de síntese e caracterização de nano partículas, materiais e filmes nanoestruturados e caracterização e produção de nanotubos de carbono, sendo as principais áreas da ciência envolvidas as de física e química.

2.5.5 Limitações e desafios

Apesar de ter iniciado ações e programas voltados à NT, já no início dos anos 2000 e de forma simultânea aos demais países desenvolvidos, se comparado com estes nas áreas da NT quanto ao número de patentes, transferências tecnológicas, produção intelectual e indústrias e empresas de base tecnológica em NT, o Brasil ainda não foi capaz de desenvolver um sistema nacional de NT capaz de ser representativo no cenário global. Foi iniciada uma política nacional de CT&I, articulada com a política industrial, onde diversas agências do governo federal somaram à sua execução. Apesar dos

investimentos públicos para a NT terem crescimento até o ano de 2010, esses não foram suficientes para alavancar o processo de *catching-up* em relação aos países desenvolvidos. Além disso há uma tendência de queda no total desses recursos financeiros públicos a partir de 2011. Não houve uma clara articulação das iniciativas públicas com o setor privado, e somente alguns estados da federação foram capazes de gerar alguma política de C&T para a NT, de forma complementar e em co-otimização integrada às iniciativas federais. Destacam-se aqui os estados de SP, MG, RJ, RS e PR.

Os principais desafios enfrentados até agora para as políticas de NT no Brasil, estão relacionados principalmente com a escassez de recursos para a pesquisa e desenvolvimento, se comparado com os países desenvolvidos, e uma maior participação do setor privado financiando as atividades de P&D com vistas a ampliar a produção de produtos de base nanotecnológica. Dificuldades na escalabilidade de processos, o alto custo de vários nanomateriais usados na P&D, dificuldades no controle de qualidade e escassez de capital de risco no setor produtivo, são outros problemas ou desafios no contexto da NT no país (ABDI, 2010).

Outro grande desafio a ser enfrentado nos próximos anos é quanto à regulação, cujas incertezas atuais podem ser fatores limitantes para o crescimento do mercado em NT tanto interno quanto externo, o que pode significar impactos negativos para o desenvolvimento econômico do país. Esse é um tema complexo que vai requerer conhecimento científico, ação decisiva do Estado, recursos, informação por parte das empresas e participação ampla de potenciais usuários e grupos afetados. Uma das estratégias adotadas para vencer esses desafios é a criação do Comitê Interministerial de Nanotecnologias (CIN), para organizar as ações e colocar a NT num outro nível de ação governamental, integrando conhecimentos e recursos de oito ministérios e coordenado pelo MCTI. Como uma das primeiras ações para aproximar o País das potências mundiais no setor, o CIN instituiu, em 2015, o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBC-Nano). Entretanto após esta ação, o CIN está há mais de dois anos sem atividades (PLENTZ, 2017). Não se observa ações efetivas com referência à regulação e regulamentação da NT. A regulação da NT está sendo feita através de adaptações das regulações já existentes das Agências Reguladoras, principalmente a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para o caso dos fármacos. A ausência dessas políticas específicas aumenta a incerteza tanto na P&D quanto no setor produtivo, o que pode trazer impactos negativos para o desenvolvimento da NT. As atividades de P&D e produção de NT ficaram concentradas na região sul, seguida da

região sudeste, mas ainda sem atingir uma massa crítica capaz de atuar como vantagens regionais – infraestrutura, conhecimento, capital de risco - para atrair e alavancar o desenvolvimento da NT. O Brasil ainda não consegue posicionar-se entre os países com o estado da arte em NT.

Cabe ressaltar o grande impacto que ocorreu nos anos de 2016 e 2017 com gênese na crise econômica-política-social, que o Brasil atravessou nesses anos, e que trouxe como consequência além da escassez de recursos de investimentos para o sistema nacional de PD&I, de forma geral, provocando o congelamento da política nacional de nanotecnologia cujos efeitos deverão ser sentidos nos próximos anos. Muito ainda está por fazer. Em um país onde 60 % da força de trabalho industrial não completou a educação básica, a formação de RH de alto nível deve ser uma prioridade das políticas de NT, pois a formação desta força de trabalho é essencial para a inovação, para um desenvolvimento seguro da NT e para não ampliar ainda mais nossa defasagem tecnológica. A NT é um retrato do atraso e da dependência tecnológica do país.

3. PESQUISA E INOVAÇÃO NO CENÁRIO DO NOVO PARADIGMA TECNOLÓGICO

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a pesquisa é uma função precípua da universidade que sustenta suas ações, e em sua grande maioria financiada com recursos públicos. Na medida em que a obtenção e a aplicação do conhecimento resultante da ciência, da tecnologia e do processo de inovação, exigem investimentos elevados, este cenário certamente coloca desafios particulares para a inovação, notadamente pelas divergências entre o que é estratégico ao poder público e o que é direcionado pelo mercado das empresas. Entretanto, nos países desenvolvidos a maior parte da pesquisa é desenvolvida em empresas, com expressivo financiamento privado, sendo assim muito mais direcionada à inovação. É através desta que são gerados novos conhecimentos que podem se transformar em produtos, processos e tecnologias e práticas inovadoras, emergindo novas tecnologias e sistemas, que irão ampliar as fronteiras da ciência e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico e o bem-estar da sociedade

Este capítulo contextualiza a inovação como paradigma técnico-econômico, abordando também os principais constituintes que norteiam o processo inovativo como a relação universidade-empresa e o papel dos laboratórios de pesquisa nas universidades para a inovação. Nesse contexto, a última seção trata dos aspectos da reorganização da pesquisa pública no Brasil ocorrida a partir dos anos 1990, impelidos pelas necessidades do processo de inovação.

3.1 Inovação

A definição de inovação é ampla e controversa, porque o esforço para formular o seu conceito repousa na realidade do setor industrial. Cabe salientar que, conforme Guimarães e Azambuja, (2010, p.98) “a questão ganha novos contornos no contexto dos países em desenvolvimento, cuja realidade não pode ser comparada a dos países que estão na fronteira do conhecimento tecnológico”.

De acordo com Perez (2009, p.6), “inovação é um processo coletivo que envolve cada vez mais outros agentes de mudança: fornecedores, tributos e muitos outros, incluindo os consumidores”. Enquanto que para Dosi, (1988, p.222), este define a atividade inovadora como “um conjunto de processos de busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, novos

processos e novas técnicas organizacionais”. Já na visão schumpeteriana o processo de inovação ocorre em três fases correspondentes, que podem ser sequenciais ou simultâneas: a descoberta ou invenção, a inovação e a difusão. A invenção seria um processo exógeno e fora da jurisdição da economia, enquanto a inovação e a difusão seriam as responsáveis pela introdução e propagação das tecnologias e seus benefícios na economia (SCHUMPETER, 1982).

A política de inovação é mais vasta do que se entende. Delibera Edquist (2011) como a ação pública que determina a mutação técnica e a dos outros tipos de inovação, incluindo as políticas de P&D, tecnológica, infraestrutura, regionais e de educação, seguindo mais à frente da política de Ciência e Tecnologia e partindo de um conjunto maior de políticas conhecidas como políticas industriais. Barbosa (2017) destaca que a inovação não abrange apenas as atividades de P&D e o lançamento de tecnologias de ponta, mas todo processo de mudança e modernização nas empresas, ligada aos processos de aprendizado.

O destaque que a inovação vem ganhando nas últimas décadas tem gerado um esforço sistemático de entendimento deste fenômeno. Desta forma, a disposição feita originalmente por Schumpeter de inovação como ingresso de novos produtos, processos, formas de organização e novos mercados vem se aprimorando por diferentes trabalhos, como os da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) que tem como empenhos mais divulgados na área o Manual de Frascati de 2013³ (OECD, 2013) que qualifica quais atividades são consideradas P&D e o Manual de Oslo⁴, que busca garantir atividades mais amplas envolvidas em ciência, tecnologia e inovação, além da P&D.

De acordo com o Manual de Oslo, (FINEP, 2004, p.55), “uma inovação é a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas”.

Em meados dos anos de 1990, estudos sobre a inovação despontaram um interesse crescente nas relações interorganizacionais, por conta do crescimento exponencial das relações de cooperação entre as empresas, que têm interessado às áreas de alta tecnologia

³Manual de Frascati - Metodologia proposta para a definição da investigação e desenvolvimento experimental. OECD, 2013. (Tradução sob-responsabilidade de F. Iniciativas, 2013).

⁴Manual de Oslo - Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. (Traduzido sob-responsabilidade da FINEP, 2004).

(HAGEDOORN e SCHAKENRAAD, 1992). Muitas empresas deram início à aplicação de uma estratégia de *open innovation*, como opção ao modelo fechado de inovação típico das empresas verticalmente integradas (CHESBROUGH, 2003). Diferentemente deste último, o modelo aberto conjectura-se de que os conhecimentos úteis para inovação estão dispersos entre uma pluralidade de atores diversos, assim, torna-se necessário desenvolver parcerias externas. A inovação requer a contribuição de uma maioria de atores, econômicos ou não. Assim, nas abordagens de análise prevalentes, a movimentação das informações, a criação de novas ideias e as atividades inovadoras são idealizadas como sistemas complexos de interação, nos quais a dimensão territorial toma uma posição de importância. Mas, se o papel do território como recurso importante para a inovação é, em geral, reconhecido, já sua relação específica com as empresas não é tão evidente. Seguramente, essas podem obter benefício de uma série de bens coletivos que constituem economias externas materiais e imateriais, por exemplo, a presença de universidades e estruturas de pesquisa, de elevadas competências em termos de capital humano e de fornecedores especializados, porém, nem todas as empresas estão aptas a gozar adequadamente desses recursos, e nem todos os territórios conseguem reconhecer a importância das estruturas de pesquisa e de formação de que dispõem para beneficiar a inovação, (RAMELLA, 2017).

Fuck, (2009) nos ensina que, “diversos estudos têm buscado entender as articulações que se estabelecem entre as diferentes instituições públicas e privadas que participam do processo inovativo”. Anteriormente esses estudos buscavam perceber as políticas que conseguiriam beneficiar o desenvolvimento dos sistemas nacionais de inovação. Diferentes estudos focalizam distintos níveis de agregação, privilegiando a análise, citando como exemplo, supranacional, regional ou setorial. O autor complementa que “em comum essas abordagens possuem o fato de analisarem o processo inovativo como algo sistêmico, no qual os atores envolvidos interagem de diversas formas no processo de desenvolvimento e difusão de novas tecnologias” (FUCK, 2009, p.50).

Importante ressaltar que os baixos índices de PD&I que a realidade brasileira mostra, e principalmente o descompasso entre produção científica e inovação é, em grande parte, produto de fatores econômicos e histórico-culturais concernentes a uma sociedade que se estruturou baseada a um sistema escravista e em relações sociais de caráter patrimonialista. Essas particularidades foram de certa maneira reconstruídas no processo de industrialização, radicado na segunda metade do século XX, sob os princípios dos moldes de substituição de importações. O que impulsionou o processo de inovação

no Brasil foi o desenvolvimento industrial direcionado para atender a demanda do mercado interno, sob o amparo do Estado com protecionismo tarifário, subsídios, controle de preços, reservas de mercado e incentivos fiscais e de crédito. Essa estratégia desestimulou a competição e a busca por maior produtividade e redução de custos; ao contrário, reproduziram-se protótipos obsoletos no exterior, sem que houvesse exigência de desenvolvimento de projetos de PD&I para as empresas que aqui se instalaram. Ao deixar de promover a inovação, a política industrial contribuiu para desestimular a percepção daquela capacidade como um valor social e, em decorrência, deixou de beneficiar oportunidades para seu desenvolvimento, (GUIMARÃES e AZAMBUJA, 2010).

Os fatores econômicos são importantes no direcionamento do processo de inovação. De acordo com Dosi (2006) o método de crescimento e de mudança econômica, as diferenças nas participações distributivas e nos preços relativos simulam a direção da atividade de inovação. A respeito da atividade inovadora, este acrescenta que estudos empíricos apontam para explicações multivariáveis e para algum tipo de "determinação contextual" entre os fatores relacionados à ciência e às variáveis econômicas. Alguns aspectos do processo de inovação devem ser considerados bem estabelecidos entre eles incluem-se:

1. O crescente papel (ao menos, no século XX) de insumos científicos no processo de inovação.
2. A crescente complexidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), tornando o processo de inovação uma questão de planejamento a longo prazo para as empresas (e não apenas para elas), e depondo contra a hipótese de imediatas respostas de inovação pelos produtores face a mudança nas condições de mercado.
3. Uma significativa correlação entre os esforços de P&D (como *proxy* dos insumos do processo inovador) e o produto da inovação (medido pelas atividades de patenteamento) em diversos setores produtivos, e a ausência, em comparações transversais entre países, de evidentes correlações entre o mercado e os padrões de demanda de um lado, e o produto de inovação do outro.
4. Uma significativa quantidade de inovações e aperfeiçoamentos originando-se do "aprendizado pela execução", que geralmente se incorpora em pessoas e organizações (principalmente firmas).
5. Não obstante a crescente formalização institucional da pesquisa, as atividades de pesquisa e inovação mantêm uma intrínseca *natureza* de incerteza: isto se contrapõe a qualquer hipótese de um conjunto de escolhas tecnológicas conhecidas *ex-ante*.
6. A mudança técnica *não* ocorre ao acaso por dois motivos. Em primeiro lugar, as direções da mudança técnica são muitas vezes definidas pelo estado-da-arte da tecnologia já em uso. \em segundo lugar, muitas vezes, a probabilidade de empresas e organizações alcançarem avanços técnicos depende, entre outras coisas, dos níveis tecnológicos já alcançados por essas empresas e organizações.
7. A evolução das tecnologias através do tempo apresenta certas regularidades significativas e, muitas vezes, somos capazes de definir as "trajetórias" da mudança em termos de certas características tecnológicas e econômicas dos produtos e processos (DOSI, 2006, p.41). Grifos do autor.

Dosi (2006) destaca o inter-relacionamento entre o progresso científico, a mudança técnica e o desenvolvimento econômico. Desde a época da Revolução Industrial, suas influências foram transformadoras nas sociedades, sendo que para a área industrial houve marcantes mudanças, institucionalizado de diversos modos e incorporado à dinâmica do sistema econômico; a pesquisa científica e tecnológica é comumente empreendida de maneira direta pelas empresas, ou patrocinadas por elas, por outro lado, os desenvolvimentos científicos e tecnológicos são fatores decisivos em relação à competitividade e ao crescimento.

A capacidade de inovação, na sociedade atual, determina seu grau de desenvolvimento, pois o conhecimento é fonte determinante para a ampliação da produtividade e a criação de riqueza, distante do que ocorreu no passado quando a presença do capital físico era categórica.

Países em todo o mundo estão buscando crescimento econômico inteligente, gerido pela inovação, lembrando de um aspecto não menos importante, a sustentabilidade. Para isso, requer repensar o papel do governo e das políticas públicas, necessitando de uma nova apologia de intervenção do governo indo além do que correção de falhas de mercado. A política neste contexto se refere também, a co-criação e co-modelar mercados, critérios diferentes pelos quais justificar, fomentar e avaliar políticas públicas. (MAZZUCATO, 2017).

3.2 Paradigmas técnico-econômicos da inovação

Freeman e Perez (1988) usam a expressão "paradigma tecno-econômico", ao invés de "paradigma tecnológico", pois consideram que a análise do processo competitivo deve incluir outros elementos além do progresso técnico. Segundo os autores, “as mudanças envolvidas vão além de tecnologias específicas de produtos e processos e afetam a estrutura de custos e as condições de produção e distribuição do sistema” (FREEMAN e PEREZ, 1988, p.47).

Pérez (2009) concebe um paradigma técnico-econômico como o fruto de um coletivo complexo processo de aprendizagem proferido em um padrão dinâmico da prática tecnológica específica que está sendo adotado pelo econômico-social, combinando percepções, direções e práticas compartilhadas de mudança, sendo que sua adoção facilita a realização da eficiência e rentabilidade e sua difusão provê um entendimento comum aos agentes que participam na economia dos produtores aos

consumidores. Os princípios do senso comum de organização para a eficiência incorporados no paradigma tecno-econômico gradativamente se espalham fora do mundo dos negócios e do governo e em outras instituições sem fins lucrativos. As mutações que vêm ocorrendo na estrutura das empresas e organizações, desde a invasão da revolução da informação dos anos de 1970, os transformaram totalmente no que hoje é a rede flexível. Os modelos mais eficientes nas instituições públicas têm sido vagarosos e não estão totalmente desenvolvidos. A falta de atividade organizacional é reconhecida pela resistência a mudanças, humana e social. Esta falta de atividade, na economia de mercado, é suprida pela concorrência, pois mostra o rumo ao sucesso servindo como direção para as melhores práticas e como um alerta de sobrevivência (PEREZ, 2009). A autora destaca ainda, que:

Esse tipo de pressão e direcionalidade não está presente nas instituições públicas. Historicamente, então, estes atrasaram consideravelmente (tipicamente de vinte a trinta anos) e têm apenas os princípios paradigmáticos desenvolvidos nas empresas quando forçados a responder pressões políticas para a efetividade (PEREZ, 2009, p.19).

Freeman e Perez, (1988, p.47), citam o termo paradigma técnico-econômico, aludindo ao processo inovativo que “não só transforma as estruturas econômicas atuais, mas revoluciona todo o aparato institucional estabelecido, alterando a maneira do processo tecnológico como um todo”. Os autores ainda citam que, sua propagação envolve todo o sistema abrangendo os ambientes sociais, políticos, culturais, bem como as formas organizacionais e níveis de produção, qualidade e quantidade de força de trabalho, rebelando também o modelo de distribuição de lucros e de investimento nacional e internacional, alterando os custos relativos e as vantagens comparativas, moldando um novo padrão de consumo proporcionando inseguranças.

O paradigma tecno-econômico opera como formador de contexto em benefício de uma revolução. Cada grande onda de desenvolvimento envolve um processo agitado de fusão e assimilação. De acordo com as linhas de investigação neo-schumpeterianas, a inovação ocupa um lugar importante incluindo sua dinâmica, seu agrupamento e inter-relações. A introdução de mudanças técnicas não é ocasional, mas dependente do caminho e interdependente com outras agrupadas em sistemas, que estão interconectadas em revoluções. Muito embora a inovação seja constante na economia de mercado, nem sempre é um processo continuado. Existem descontinuidades comumente estimuladas pela exaustão de probabilidades ao longo de uma trajetória particular, onde a produtividade e os mercados estão se aproximando da exaustão. Os sistemas de

tecnologia, agrupados em uma revolução tecnológica, se sobrepõem e causam externalidades e mercados um para o outro, influenciando assim o comando de mais inovação (PEREZ, 2009).

Segundo Perez, (2009) a construção de um paradigma técnico-econômico acontece ao mesmo tempo em três áreas principais de prática e percepção:

1 Na dinâmica da estrutura de custos relativos de insumos para produção onde novos elementos de baixo e decrescente custo aparecem e se tornam a escolha mais atraente para inovação e investimentos lucrativos; 2 Nos espaços percebidos pela inovação, onde o empreendedorismo e oportunidades são cada vez mais mapeados para o desenvolvimento as novas tecnologias ou para utilizá-las vantajosamente nos setores e 3 Nos critérios e princípios organizacionais, onde a prática se mantém mostrando o desempenho superior de métodos e estruturas particulares quando se trata de aproveitar o poder das novas tecnologias para máxima eficiência e lucros. Nas três áreas, o surgimento do paradigma é uma função do ritmo de difusão dos produtos revolucionários, tecnologias e infraestruturas. No início, o impacto é localizado e menor, com o tempo espalha-se e se torna abrangente (PEREZ, 2009, p.14-15).

Estas mudanças ocorrem na economia, no território, no comportamento e nas ideias. O paradigma e seu novo senso comum de critérios se tornam enraizados e atuam como conceptores e filtros para à adequação de inovações técnicas, organizacionais e estratégicas, bem como para decisões do consumidor. Uma das maneiras em que o meta-paradigma sinaliza a melhor direção para investimento e inovação é a percepção das oportunidades lucrativas, as quais são cada vez mais definidas como as novas tecnologias, pela capacidade destas em propagar e multiplicar. Tais espaços são de dois tipos principais: os dos produtores das novas tecnologias e dos usuários. O meta-paradigma incorpora os critérios de melhor organização prática e também transforma a maneira como o trabalho e os negócios são organizados. A prática regular no uso dessas tecnologias e na relação com o novo proporciona condições para que o mercado contribua para o estabelecimento de novos princípios de organização que se mostram superiores ao anterior e se tornam parte do novo senso comum de eficácia, (PEREZ, 2009).

Os métodos de transmissão de cada revolução tecnológica e seu paradigma técnico-econômico juntamente com a assimilação pela economia pela sociedade, assim como os aumentos na produtividade e expansão, constituem grandes índices de desenvolvimento. A revolução tecnológica cria riquezas na economia gerando oportunidades de inovação equipando um novo conjunto de tecnologias associadas, infraestrutura e princípios que podem aumentar, em alto grau, a eficácia das indústrias e outras atividades. Esta transmissão tecnológica ocorre quando o novo paradigma

tecnológico desloca o antigo, ao satisfazer ao satisfazer três condições próprias, a de proporcionar custos relativos decrescentes, a de promover um rápido incremento da oferta e a de induzir novas aplicações penetrantes. Assim este novo paradigma desponta num mundo impregnado pelo antigo e somente predominará quando o fator-chave tiver a capacidade de atender as três condições acima citadas, tornando-se o eixo central de um crescimento rápido e continuado em um sistema de inovações tanto técnicas, como sociais e gerenciais. Algumas das inovações estarão ligadas à produção e outras à sua utilização (do fator-chave), e afetam toda a economia, com novos produtos, serviços, sistemas e indústrias e desenvolvimento tecnológico, (FREEMAN e PEREZ, 1988, p.58). É nesse sentido que o novo paradigma gera mudanças que necessitam de transformações do comportamento social e institucional em todos os níveis, e devem acompanhar as mudanças da economia. Atualmente, a fronteira do desenvolvimento tecnológico não está mais focada num único fator-chave, mas sim aparece delineada com a convergência tecnológica, como as biotecnologias, ciências cognitivas e nanotecnologias, em uma evidência que apesar das tecnologias serem diferentes, essas diferenças as tornam complementares. A junção com outras áreas, como as tecnologias da informação e as biotecnologias faz da N&N uma atividade científica bastante lucrativa surgindo como área de destaque para a pesquisa e desenvolvimento. Sua aplicação no mercado surge em muitas áreas do conhecimento. Estudiosos caracterizam a N&N como fator-chave de um paradigma técnico-econômico, devido ao acúmulo e a continuidade do conhecimento, apoiados na sua convergência de tecnologias, explicando assim o potencial de mudança paradigmática das N&N. Esta noção de mudança de paradigma está sendo pautada pelos aspectos teóricos neoschumpeterianos, (SANTOS JUNIOR, 2013. p.65-67).

Entretanto esta questão ainda está indefinida. Brune et al (2006, p.28), estudaram uma questão importante da tecnologia para a teoria da inovação, questionando: é a nanotecnologia uma inovação radical capaz de ocasionar mudança de paradigma? A questão estudada pelos pesquisadores aparece em aberto ao concluírem que há “lacunas de conhecimento no que se refere às reais possibilidades e temporalidade de suas aplicações” [...]. Os autores apontam para um processo de continuidade do avanço científico e tecnológico com base apenas na cumulatividade do conhecimento, não sendo capaz ainda de confirmar a hipótese de ruptura epistemológica” (BRUNE et al, 2006, p.60).

Nesta mesma linha, Fernandes e Filgueiras (2008), levantaram argumentos em torno do caráter evolucionário e revolucionário das N&N. Entrevistaram pesquisadores estudiosos da área no Brasil, que responderam terem se envolvido com a nanotecnologia naturalmente, partindo de linhas de pesquisas previamente existentes. De acordo com o resultado das entrevistas, os autores concluíram que as N&N estão voltadas a um caráter evolucionário do ponto de vista das linhas de pesquisa, e revolucionário a respeito das aplicações tecnológicas dos resultados o que contraria a tese de que elas representam uma revolução científico-tecnológica.

3.3 A relação Universidade-Empresa

O progresso técnico é essencial para o desenvolvimento e crescimento econômico. Sua particularidade remete às atividades que o produz - conhecimento científico-tecnológico – não como algo que surge de forma espontânea, mas de forma sistematizada e gerado endogenamente. Sua produção, logo, se fomentada por agentes públicos de forma efetiva pode contribuir amplamente para uma política pró-desenvolvimento. O conhecimento científico-tecnológico é um fator competitivo e conditio *sine qua non* para a capacidade inovativa; seu desenvolvimento é um processo dinâmico e resulta da interação entre diferentes agentes econômicos, especialmente, pois os novos paradigmas tecnológicos estão permeados por conhecimentos científicos de fronteira, em ambiente de incerteza radical. Estudos mostram que a relação entre a universidade e a empresa nos países que se destacam em inovação, ganha força como mecanismo para o desenvolvimento de inovações tecnológicas em todas as áreas, contribuindo para o aumento da sua competitividade no cenário global (NOVELI e SEGATTO, 2012). Surgem desta relação benefícios diretos para a universidade, como o incentivo financeiro que amplia e diversifica a pesquisa, e para a empresa que tem acesso a uma equipe altamente qualificada para trabalhar em seus problemas e trazer novas soluções para melhorias de produtos, processos e serviços, e que chegam também à sociedade com a disponibilidade e utilização desses resultados (SBRAGIA et al, 2006).

Nesse mecanismo interativo cabe papel de destaque à universidade, entendida aqui como uma instituição cujo papel social vai além de formar uma sociedade com mais educação e sabedoria, mas é responsável pelo processo de criação e disseminação, tanto de novos conhecimentos quanto de novas tecnologias, através de pesquisa básica,

pesquisa aplicada, desenvolvimento e engenharia e pode ser encarada como agente estratégico para o *catch-up*, (CHIARINI e VIEIRA, 2012, p.119). A inovação pode simbolizar para as empresas uma resposta da ciência a sua procura cada vez maior por diferenciação, sendo imprescindível para sua sustentabilidade em um mercado altamente competitivo. As universidades precisam desenvolver competências que cubram sua sustentabilidade, adaptando-se à sociedade em transformação (CLARC, 2003). Esse fato incide em mudança no que se refere ao processo de produção, difusão e aplicação dos conhecimentos (UNESCO, 2015). Deste modo, Closs e Ferreira (2012, p.420) ressaltam que “cresce a importância da compreensão do processo de transferência de tecnologia, caracterizado pela passagem de conhecimentos gerados pela universidade a uma empresa que lhe permitem inovar e ampliar sua capacidade tecnológica, possibilitando-lhe obter uma vantagem competitiva no mercado”.

Nesse contexto, a transferência de tecnologia pode se dar por meio do licenciamento da propriedade intelectual das universidades a terceiros; pela consultoria técnica em que o consultor presta informações a quem demanda um serviço; quando um resultado tangível de pesquisa é disponibilizado a terceiros, com vistas a sua comercialização ou não, além da formação de quadros que é a forma mais massiva que a universidade pode distribuir conhecimentos.

Para Parker e Zilberman (1993, p.89) a transferência de tecnologia é:

[...] qualquer processo pelo qual o conhecimento básico, a informação e as inovações se movem de uma universidade, de um instituto ou de um laboratório governamental para um indivíduo ou para empresas nos setores privados e semiprivados.

Como destacam Velho e Saenz (2002), a partir da década de 1990, o governo brasileiro passou a operar de maneira mais contundente de forma a estimular as atividades privadas de P&D e sua relação com universidades e laboratórios públicos com desejo de aproximar o nível de gastos privados com pesquisa no Brasil àqueles dos países centrais e motivou-se a igualar os indicadores brasileiros de C&T aos dos países desenvolvidos. Com esse propósito, o então MCT, em 1992, lançou o Programa de Apoio à Capacitação Tecnológica da Indústria que estruturava programas e instrumentos novos e os já existentes no que tange à parceria universidade-empresa.

Este cenário é reforçado por Dias (2012), quem, partindo dos argumentos de Velho e Saenz (2002), argumenta que é possível constatar a relevância que passou a ser conferida à questão da cooperação universidade-empresa no cenário da política científica

e tecnológica brasileira. Dias (2012) complementa citando que as universidades públicas brasileiras têm defendido a importância da inovação para o desenvolvimento econômico e da fortificação da RUE, porém o autor destaca que esta não é a real situação acreditando que este discurso é estratégia de marketing proposital por parte de algumas das universidades brasileiras.

Nesse sentido as universidades, por si, ao formarem pessoas qualificadas predis põem a capacidade de absorção de novos conhecimentos pela sociedade, ampliando sua compreensão de tecnologias e conhecimentos externos e a capacidade de utilizar tais conhecimentos. Disto resulta em que a sociedade tenha a possibilidade de produzir novos conhecimentos de forma direta e ativa, e não apenas seguindo e internalizando o que é gerado exogenamente (NELSON e ROSENBERG, 1993; NOWOTNY, SCOTT e GIBBONS, 2001). Assim as universidades impactam o crescimento econômico devido a excelência em pesquisa avançada e ao aumento do estoque de capital humano, fator determinante do desenvolvimento, pois é preciso manter em um ritmo consistente com as mudanças tecnológicas o caudal de pessoal capacitado em assimilar e saber. Esta combinação de crescimento nos estoques de conhecimento e oferta de capital humano proporciona uma crescente evolução tecno-econômica (PEREZ, 2009). Além disso, as universidades são responsáveis por pesquisas que, através da RUE, são aplicadas diretamente no setor produtivo, resultando em maior competitividade e ganhos para as empresas que conseguem transformar o conhecimento científico em inovações tecnológicas em âmbito industrial.

Por outro lado, vários autores como Blume-Kohout, Kumar e Sood, (2009); Cohen, Nelson e Walsh, (2002); Freeman e Van Reenen, (2009); Goldfarb, (2008); Jacob e Lefgren, (2011); Kostoff, (2012); Mowery, (2011); Payne e Siow, (2003); Rosenbloom et al, (2015) mostram que o financiamento do governo para a pesquisa aumenta a produção científica. De forma mais recente, estimular a pesquisa na universidade financiada pelo governo com o objetivo da inovação, permitiu aos pesquisadores ampliarem suas interações com a indústria, possibilitando mais contratos de pesquisa e ampliando a RUE. Esta relação pode ser definida como interação ativa entre pesquisadores de universidades e empresas do setor privado. Ela cobre a transferência de informações de pesquisa e os seus resultados da universidade para as empresas privadas, e os conhecimentos relacionados no mais amplo sentido (PALMBERG, 2008, p.634).

As políticas de C&T mesmo com diferentes orientações, induzem processos de criação de conhecimento nas universidades, que por sua vez são estimuladas cada vez

mais a ampliar a RUE, para que ocorra a inovação. As indústrias, em parte por sua busca pela competitividade, interação com as universidades consolidando a RUE, ampliando a difusão tecnológica e integrando os sistemas de inovação (BEAUDRY e ALLAOUI, 2012, p.1589-1600).

A NT é diferente das anteriores ondas tecnológicas ao cruzar fronteiras e convergir diversos campos da ciência e tecnologia. Por esta intersecção multidisciplinar, redesenha os arranjos organizacionais entre os atores, regionais e nacionais, propiciando o surgimento de aglomerações tecnológicas e de novas RUEs. Este movimento envolve grandes recursos a investir, e por isso compartilha infraestrutura de pesquisa, equipamentos e habilidades técnicas e científicas entre os diferentes campos de P&D (ROBINSON, RIP e MANGEMATIN, 2007, p.872). O papel do governo financiando a P&D empreendida na universidade é importante, e a transferência de tecnologia das universidades para as empresas privadas torna-se primordial, reforçando e ampliando o importante papel destas na RUE ao dar suporte de infraestrutura de pesquisa e gerir agências de inovação para alavancar o empreendedorismo acadêmico (PALMBERG, 2008, p.632).

Entretanto, RUE não é construída somente com aporte de recursos financeiros, mas também com as habilidades dos cientistas em identificar e antecipar os desdobramentos da P&D corporativa, com as influências da natureza da indústria regional e suas estratégias de desenvolvimento envolvendo os aspectos sociais, econômicos, culturais e de infraestrutura, da dinâmica de inovação dos seus setores, além de políticas regionais de C&T. Isto suscita amplas implicações para os formuladores de políticas públicas e decisões institucionais, notadamente nas universidades, face ao seu crescente protagonismo ao participar, cada vez mais, do desenvolvimento econômico regional (SÁ, 2011, p.206).

A inovação e o desenvolvimento tecnológico ocorrem vinculados e diferenciados por suas fontes, agentes e instituições caracterizando diferentes ambientes setoriais, que tem sua construção baseada em três blocos: conhecimento e tecnologia; atores e redes; e instituições (MALERBA, 2004, p.10). Sendo assim, o sistema de inovação pode ser visto como um processo coletivo e interativo entre uma ampla variedade de atores, e, em uma abordagem evolutiva, aprendizagem e conhecimento são elementos importantes para as mudanças (EDQUIST, 1997). A inovação ocorre em uma dinâmica interativa, e agora é mais uma questão de partilha de conhecimentos (BROUSSEAU e GLACHANT, 2012). A NT está redefinindo as fronteiras entre as

indústrias e combinando dois aspectos da inovação. O primeiro é o reforço de competências com base na experiência de conhecimentos e acumulação, e o segundo, a destruição dessas competências forçando uma renovação da base de conhecimentos da empresa (MANGEMATIN, ERRABI e GAUTHIER, 2011, p.640).

Nesse contexto o Sistema Setorial de Inovação (SSI) emerge da interação coletiva e coevolução de seus vários elementos, organizações e indivíduos. (MALERBA, 2004, p.16). Para a NT, a sua multi e interdisciplinaridade encorajam, reforçam e ampliam o conhecimento (BATTARD, 2012, p.236). Em um campo com a NT onde a inovação cada vez mais requer equipes multidisciplinares, inovar sozinho é quase impossível (BEAUDRY e ALLAOUI, 2012, p.1600). Esse capital humano técnico e científico (CHTC) é definido “pela soma dos laços individuais da rede profissional de um pesquisador, das habilidades e conhecimentos técnicos e dos recursos amplamente definidos” (BOZEMAN, DIETZ e GAUGHAN, 2001, p.636). Essa capacidade de pesquisa é um conceito dinâmico, definido por vários fatores discretos, tais como publicações e patentes. Assim os cientistas continuamente desenvolvem suas competências e habilidades através da busca de novas oportunidades, incluindo as atividades de colaboração e interação, podendo produzir novos tipos de atividades não tradicionais e resultados tecnológicos como a NT. Esta abordagem de CHTC tem um viés institucional, pois ao promover redes e laços fortes, tem o potencial de alterar normas e expectativas da produção da pesquisa na universidade, e um viés de base em recursos, pois o CHTC pode variar dependendo da infraestrutura e das diferentes integrações do conhecimento usadas, e de outros recursos adquiridos pela universidade da iniciativa privada RUE, como também aqueles dos participantes públicos.

Centros de Pesquisa em NT, ou Nanocentros (NC), são assim caracterizados como uma espécie de instituição de intermediação para prover recursos e condições institucionais para a pesquisa cooperada intra e interinstitucional e com a indústria. Dessa forma criam-se ferramentas de governança para explorar o potencial sinérgico de atividades previamente desconectadas, organizando e coordenando diversos participantes em direção aos objetivos e metas estabelecidos para a pesquisa e a RUE (PONOMARIOV, 2013, p.753-754).

A literatura tem enfatizado que a pesquisa nas universidades contribui de forma essencial para o sucesso de um SSI (NELSON e ROSEMBERG, 1993; SIEGEL, WALDMAN e LINK, 2003; ROSENBLOOM, 2007). As universidades são importantes agentes para mudanças tecnológicas constituindo-se em fontes para as empresas

buscarem seu conhecimento inicial e competências (LIBAERS, MEYER e GEUNA, 2006, p.443), onde a relação das universidades com as empresas desempenha importante papel para a inovação e o desenvolvimento econômico (COOKE, URANGA e ETXEBARRIA, 1997), e para a obtenção de patentes e licenciamento para as empresas (MOWERY et al, 2001). Estas relações são moldadas no conceito de *spillover* segundo o qual as empresas ganham acesso, dentre outros, ao conhecimento dos pesquisadores, aos equipamentos e laboratórios das universidades, ao estado da arte da ciência, treinamento, formação de recursos humanos qualificados e solução técnica para seus problemas (WANG e SHAPIRA, 2009, p.198), sendo os processos de gestão da RUE estratégicos para o sucesso da geração e transferência do conhecimento (GEUNA e MUSCIO, 2009, p.95). A introdução de novas formas de pesquisa cooperativa entre firmas e universidades e laboratórios federais, incluindo o uso compartilhado de infraestrutura de pesquisa, e o intercâmbio de pesquisadores das duas partes, estimulam as patentes industriais e o financiamento privado da P&D, sugerindo que o esforço conjunto de uma sólida e mais extensa relação universidade-empresa são requeridos para o sucesso da transferência de tecnologia. (ADAMS, CHIANG e JENSEN, 2003, p.1019).

Quando novas empresas de base tecnológica interagem com universidades os recursos associados como o capital intelectual e social, produção científica e reconhecimento são atributos importantes para influenciar o julgamento sobre o potencial tecnológico e a eficiência destas empresas, notadamente na obtenção de capital de risco (WANG e SHAPIRA, 2009, p.200). Neste cenário, como um fenômeno recente, surgem as plataformas tecnológicas no campo da NT. Por envolver pesquisadores de forma interdisciplinar, com interesses de pesquisa em várias áreas da ciência, e a necessidade de serviços multisetoriais para as empresas, a RUE passa a uma plataforma centralizada, operada em um *pool* de laboratórios e equipamentos provendo aos usuários, de forma conjunta, academia e indústria, tempo compartilhado, e assistência e treinamento. Estas plataformas tecnológicas ao proverem novos meios e formatos de interação, reconfiguram as fronteiras da ciência-economia trazendo mais eficiência para a RUE, focado em acesso a equipamentos, coprodução e patentes (MERZ e BINIOK, 2010, p.108-112). Outra evidência importante é que, dado este caráter da NT e da plataforma tecnológica, este cenário de amplitude do desenvolvimento da N&N e da RUE elevam os laboratórios à condição de *hubs* tecnológicos influenciando de forma positiva e significativa a produção científica e patentes, em diversas outras áreas de ciência na academia e tornando mais eficiente a RUE (BATTARD, 2012, p.238). Estabelecer NC nas universidades tem efeitos

positivos na produção e comercialização da NT e constitui uma ponte entre a pesquisa, o conhecimento desenvolvido e a comercialização tecnológica, ampliando a difusão do conhecimento. As características institucionais, de recursos e facilidades, e de CHTC envolvidos no NC podem alterar o foco e a quantidade da pesquisa na universidade (PONOMARIOV, 2013, p.764).

Muitos dos potenciais de mercado da NT são desenvolvidos com o sucesso das RUE através de novas empresas oriundas das universidades (EOU), apesar destas encontrarem consideráveis desafios, dentre eles, necessidade de altos investimentos de tempo e de recursos financeiros, manter o foco no mercado e o desafio maior da concorrência das empresas estabelecidas. Para vencer tais desafios e em razão de sua complexidade, estas EOU devem criar e manter estreitas colaborações com os atores de suas complexas redes como a universidade de origem, bem como com investidores, coprodutores, distribuidores, além de ampliar sua rede de pesquisa. A importância de novas alianças para esses novos empreendimentos tecnológicos é fundamental, tendo que criar um novo ecossistema de negócios para sua nano inovação, ao invés de tentar penetrar em um já existente, demonstrando o valor potencial de sua tecnologia em aplicações específicas e desejadas pela demanda. Para criar e gerenciar estas relações, o pessoal inicial da EOU deverá vir de dentro do ecossistema de inovação, o que pode ser facilitado pelo apoio da instituição de origem, pela competição entre empreendimentos e pela assistência de investidores (LUBIK e GARNSEY, 2008, p.237-238). Entretanto é preciso considerar que o *ethos* científico é visto como o principal obstáculo para uma efetiva interação da RUE, recomendando aos empreendedores acadêmicos reconhecer a necessidade de incluir na equipe de gestão da EOU pessoas com perfil comercial e de negócios. Esses membros não acadêmicos devem ser selecionados baseado nas suas funções cognitivas para promover a efetiva troca de conhecimentos de forma a mitigar o conflito de formação com os acadêmicos. Cabe ressaltar que é necessário, ainda, ter cuidado para não estabelecer normas acadêmicas ao envolver outros pesquisadores na equipe, evitando interferências na racionalidade dos negócios, na RUE e dificuldades de interação com os membros não acadêmicos (VISINTIN e PITTINO, 2014, p.40).

Entretanto, em estudo realizado na comunidade de NT do Reino Unido no período de 1992 a 2001, constatou-se que para a NT a RUE representou importante papel, mas não foi dominante para o seu desenvolvimento e não fez parte formal do processo de comercialização e fabricação (LIBAERS, MEYER e GEUNA, 2006, p.446-449). Isto é corroborado pelas evidências que patentes foram ineficientes mecanismos para a

colaboração e transferência de tecnologia em áreas como a química e ciências biomédicas. Com a expansão do patenteamento em NT das universidades americanas, isto pode criar potenciais impedimentos para o avanço da pesquisa básica, limitar o fluxo de conhecimento e os resultados entre os pesquisadores tanto na academia quanto na indústria, reconfigurando a RUE (MOWERY, 2011, p.709). Nesse sentido, na RUE o aumento do capital social não foi positivo para as empresas, talvez porque o fato de ter redes extensas e fortes não significa que a academia vai conseguir disponibilizar seus recursos, tornando-a inacessível para a empresa, bem como não é representativo na RUE o tamanho e a reputação da universidade (WANG e SHAPIRA, 2009, p.211). Também há fortes evidências que os pesquisadores das universidades aumentaram a dependência no conhecimento da indústria, o que pode trazer constrições para a pesquisa básica e reduzir o escopo da pesquisa aplicada (JUNG e LEE, 2014, p.85). As empresas também podem colocar restrições sobre temas de investigação a ser conduzidos pelos pesquisadores da universidade, incluindo restrições sobre a publicação de resultados de pesquisa, na medida em que estes estejam protegidos por sigilo contratual ou por questões de direitos de propriedade intelectual.

Questões culturais são outro importante desafio a considerar. Universidades e empresas operam de acordo com diferente ética e códigos, onde a universidade prioriza a propriedade comum do conhecimento científico, a liberdade de publicar resultados de pesquisa considerando o prestígio profissional e independência com uma natureza mais crítica e sensível. Em contraste as empresas, obviamente, tendem a proteger com sigilo e privacidade os resultados de pesquisa que alimentam novas tecnologias, produtos ou processos, e investir em P&D para obter benefícios comerciais no mais curto prazo. Além disso, as universidades são, via de regra, mais burocráticas em sua estrutura organizacional, e menos flexíveis para rápidas mudanças nas necessidades de investigação do que as empresas (PALMBERG, 2008, p.635). Dessa forma, a Capacidade Social (CS) de um país pode ser fator relevante na geração do conhecimento e sucesso da RUE (Abramovitz, 1986), bem como são as inovações técnicas e sociais que irão determinar o dinamismo e a instabilidade da economia mundial, pois a capacidade tecnológica é a principal fonte para a força da competitividade das nações (FREEMAN, 1987, p.5).

No Brasil segundo Dias (2012) a trajetória da relação universidade-empresa nos mostra uma transformação significativa pela qual passou a universidade pública brasileira ao longo das últimas décadas. Completa Dias (2012, p.131) que “reflete, ademais, uma

tendência mais ampla, a de privatização implícita sofrida por quase todas as instituições de natureza pública”. No caso da universidade pública, esse processo tem ocorrido por meio da captura da agenda de pesquisa pública por assuntos de interesse estritamente privados, e as práticas relativas a esse processo têm sido cada vez mais constantes.

Outro ponto de destaque para a RUE no Brasil é que ao fortalecer essas relações poderão nascer novos métodos e melhorias em produtos e processos que tendem a proporcionar benefícios a todos seus atores: (i) para as universidades, a orientação das pesquisas para a resolução de problemas de interesse para a sociedade; (ii) para os alunos e pesquisadores, crescimento, aprendizado e aumentando o valor do currículo e (iii) para a empresa, a probabilidade de introdução de novas tecnologias no mercado instituindo diferenciais competitivos (BERNI et al, 2015). Apesar disto e, embora as universidades públicas brasileiras serem centros de excelência científica, pode-se constatar que as pesquisas não têm a necessária influência no setor produtivo (MATIAS-PEREIRA e KRUGLIANSKAS, 2005).

Entretanto no cenário brasileiro há várias barreiras assinaladas por empresários no relacionamento com as universidades, sendo as mais relevantes questões quanto a prazos, segurança, sigilo das informações, falta de mecanismos de intermediação e de acesso às informações sobre a produção científica, aspectos burocráticos e legais, despreparo das equipes para administrar projetos e problemas em repassar resultados para o mercado (CLOSS e FERREIRA, 2010). Com relação à universidade, os autores apontaram como dificuldades na relação com as empresas, à falta de postura proativa e inovadora e a necessidade de entendimento das normas universitárias. Dentre todas as barreiras à RUE a burocracia é o principal motivo para muitas empresas não constituírem projetos de cooperação com as universidades (GONÇALO e ZANLUCHI, 2011).

Todas estas dificuldades e restrições relacionadas a RUE estão refletidas nas PINTEC de 2011 e 2014 que apontam para uma pequena parcela de empresas que procuram as universidades para a P&D. Segundo dados dessas pesquisas em 2011 somente 12,6% das empresas tiveram P&D com a universidade, passando para 18,3% em 2014, considerando todas as áreas e setores de atuação (IBGE, 2013; IBGE, 2016).

Importante ressaltar que, apesar da burocracia ser vista como o principal entrave para a RUE no Brasil ainda deve haver nas instituições, a construção de regras de avaliação do sistema de inovação baseados em indicadores que admitam compreender e monitorar a interação e o desempenho dos agentes, e também a influência do ambiente externo sobre estas instituições, e ainda, além de instituir um sistema de informações, a

universidade deve empenhar-se na promoção de *workshops*, palestras e discussões sobre a interação universidade-empresa investindo na RUE dentro na comunidade acadêmica, de forma a esclarecer e desnudar a ideia de que esta interação tem como resultado a distorção da missão e da cultura da universidade pública. Para tanto há a necessidade de simplificar, desburocratizar, o processo de colaboração universidade-empresa, instituindo legislação adequada e incentivando a formação de parcerias. É necessário clareza e objetividade sobre os limites e probabilidades das parcerias para que haja uma interação entre universidade e empresa benéfica com resultados positivos (OLIVEIRA E GIROLETTI, 2016).

Outro aspecto que impacta a RUE no Brasil é que historicamente o país tem se apresentado com falta de articulação entre as políticas industriais e governamentais de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). Percebe-se desta forma, um distanciamento entre os investimentos em CT&I e a demanda por inovação no setor privado. Além disso, com relação ao desenvolvimento tecnológico, há um agravante advindo da concentração de investimentos públicos em ciência e pouco investimento do setor privado (CHIARELLO, 2000).

Dito isto, a Universidade Empreendedora não é uma casualidade. Com efeito, pesquisadores vêm conduzindo investigações cuja envergadura oferece extensas perspectivas deste complexo processo, passando por temas desde o desenvolvimento de políticas e estrutura internas até a importância das incubadoras ou Parques Tecnológicos. O conhecimento desenvolvido na Universidade é para ser difundido na sociedade, seja pelo desenvolvimento de capacidades internas para a transferência de tecnologia e comercialização de pesquisa ou desempenhando papel colaborativo com negócios governamentais e sociedade civil (ETZKOWITZ e ZHOU, 2017). Incentivar a aproximação das universidades com o setor produtivo se cogita em uma tendência mundial (MATIAS-PEREIRA e KRUGLIANSKAS, 2005).

3.4 Laboratórios e Inovação

Em um ambiente cada vez mais competitivo, globalizado e de crescente desenvolvimento tecnológico, a interação entre os vários atores governamentais, privados, de ensino-pesquisa-desenvolvimento-inovação e da sociedade em geral traz novas exigências que moldam e reconfiguram a sua dinâmica. O conhecimento científico,

com todas suas formas de apropriação, pode ser considerado não somente um dos pilares que sustentam o desenvolvimento econômico e social, mas como o seu insumo mais importante (ETZKOWITZ e LEYDESDORFF, 2000). Nesse contexto as atividades de pesquisa e serviços prestados pelos laboratórios das universidades, ganham novos contornos e papel de destaque em contribuir para ampliar a RUE, proporcionando mútuos benefícios. Intensificar esse mecanismo de transferência de tecnologia (TT) resulta em uma alternativa eficaz para as empresas promoverem a inovação e para as universidades obterem fontes complementares de recurso para a pesquisa (ETZKOWITZ, 2004). Emerge, assim, a necessidade dos gestores em promover políticas internas e mecanismos de gestão que sustentem as atividades empreendedoras e inovadoras nas universidades através de seus laboratórios.

Com relação aos países em desenvolvimento (PED), em fronteiras tecnológicas que se deslocam rapidamente, como no caso da nanotecnologia, se o objetivo for o de obter o *catching-up* e aprofundar o processo de industrialização, não serão suficientes apenas acumulação de aprendizados e competências advindas das formas adaptativas e do aprender fazendo e pelo uso, mas será necessário um forte engajamento em P&D, capitaneado pelos laboratórios das universidades, no aprender pela pesquisa e aprender pela interação (MOTOYAMA et al, 2004). A ideia de aglomerações (*cluster*) de inovações, incluindo as inovações suplementares efetuadas durante o período de difusão, e relacionadas ao rápido crescimento de novos ramos tecnológicos, podem proporcionar os ingredientes para uma aceleração do crescimento econômico como um todo. Esta apropriação do conhecimento é como um “envelope” manifestando-se dentro de um limitado espaço de tempo, e que pode, já na fase inicial da difusão, levar a economia a uma taxa mais elevada de desempenho econômico (FREEMAN e SOETE, 2008).

Os laboratórios das universidades contribuem para a capacitação, o acompanhamento e a interação do conhecimento tecnológico, tendo um papel importante na política científica e tecnológica. Nas décadas de 1960 e 1970, grande parte dos laboratórios públicos apenas prestava suporte às atividades governamentais regulando e definindo políticas nas áreas de saúde, da defesa, meio ambiente, entre outras. A intervenção pública na área de P&D se deu pela autonomia do Estado em relação às instituições por ele reguladas e pelas características da ciência e dos limites da apropriação pública (DALPE, ANDERSON, 1993).

No processo de inovação, os laboratórios públicos das universidades devem obter resultados econômicos e sociais importantes, conduzindo a maior parte dos recursos para

a pesquisa aplicada em cooperação com a indústria. A ênfase na transferência e comercialização das inovações desses laboratórios e a exploração do trabalho cooperativo passam a ser a tônica das políticas públicas dos países desenvolvidos a partir década de 1980 (WARRANT, 1991). Há um encorajamento à cooperação e à colaboração entre laboratórios e indústrias, visando o aumento do nível de competitividade industrial dando origem a novas redes de inovação. Pode-se completar que estas “redes constituem a nova morfologia social de nossas sociedades, e a difusão da lógica das redes modifica de forma substancial a operação e os resultados dos processos produtivos e de experiência, de poder e de cultura” (CASTELLS, 2002, p.565). É nesse sentido que há a necessidade das empresas se tornarem mais próximas com as universidades procurando oportunidades nos laboratórios de pesquisa propondo atuações em conjunto criando maior possibilidade de geração de recursos financeiros para melhor desempenho nas atividades de pesquisa (SANTANA e PORTO, 2009).

Destacam Matias-Pereira e Kruglianskas, (2005) que, a inovação tecnológica deve decorrer de um ambiente que resulte tecnologia de ponta. As universidades públicas brasileiras possuem centros com laboratórios de excelência científica, porém seus resultados de pesquisa apresentam ainda baixa transferência de novas tecnologias ao setor produtivo, o que faz com que os serviços e produtos produzidos no país sejam pouco competitivos no mercado interno como também no externo.

Conforme Hage (2011) as tecnologias inovadoras, geralmente aparecem da combinação de múltiplas especialidades, habilidades e conhecimentos que são incitados pela colaboração interorganizacional através das atividades de pesquisa dos seus laboratórios. Gertner (2012) conta que no passado, quando a integração vertical dominava as estratégias das empresas dos Estados Unidos, muitos dos laboratórios de pesquisas mais produtivos, preparavam-se de maneira a possibilitar cooperações transversais para progredir. Gill e Raiser (2012) destacam que, de acordo com relatório do Banco Mundial, os Estados Unidos é considerado frequentemente o país mais inovador do mundo, e Keller, Block e Negoita (2017) relatam que os Estados Unidos tem concentrado esforços para aprofundar as parcerias entre cientistas do governo e do setor comercial tomando uma série de medidas legislativas gerando a colaboração entre os laboratórios e agências do setor privado, incluindo acordos cooperativos de pesquisa e desenvolvimento que envolve contribuições conjuntas entre laboratório e parceiros privados. Dentre estas medidas estão acordos de uso proprietários ou não de instalações, que permitem a parceiros não federais acesso a equipamentos de laboratórios e cientistas e mais recente

Acordos para a Comercialização de Tecnologia (ACT), um programa piloto criado para minimizar as barreiras à cooperação com empresas privadas, (p.125) – “permite aos laboratórios uma estrutura mais flexível para a negociação de direitos de propriedade intelectual e maior poder de decisão para negociar os termos de acordo com empresas privadas”.

É esperado que os laboratórios provejam normalmente conhecimentos ou tecnologias únicas e que não existem no mercado, por isto a inexistência de concorrentes no setor privado é um dos critérios que os laboratórios se obrigam a conferir antes de aprovar um acordo. E nos casos em que há concorrência por um acordo, os concorrentes de um laboratório não são empresas privadas e sim outras unidades de pesquisa federais. Os laboratórios comumente praticam uma fórmula facilitadora no apoio as novas tecnologias que as empresas privadas acreditam ter um potencial de mercado, em um processo onde os laboratórios não “selecionam vencedores”, mas facilitam o desenvolvimento ou certificam a viabilidade de ideias que surgem de parceiros externos. KELLER, BLOCK e NEGOITA, 2017, p.128).

Políticas públicas para inovação não devem focar apenas na P&D, mas também em outros ativos complementares que impactam as atividades dos laboratórios, como as questões de *path-dependence* – onde a sequência de escolhas é condicionada pelo resultado das escolhas anteriores; de *lock-in* – situações de ineficiência e restrições de desenvolvimento que estão aprisionadas a decisões passadas, por vezes um processo de concorrência entre tecnologias; e de inércia – onde falhas de mercado restringem, ou até mesmo impedem, as mudanças necessárias para o estabelecimento de tecnologias mais eficientes, são relevantes para a apropriabilidade e difusão tecnológica (HELLER, 2006). Este é o caso do SisNANO como programa da política nacional de NT, onde o eixo central das questões de P&D está sustentado pela formação de redes e de recursos humanos em N&N, laboratórios multiusuários, ampliando o capital institucional e humano aliados a um forte apelo para a relação universidade empresa.

3.5 Redes e a reorganização da pesquisa pública no Brasil

Foi no final da década de 1980 que os meios governamentais começaram a refletir qual era o papel da pesquisa científica e tecnológica no desenvolvimento econômico do Brasil. À época repensou-se na dinâmica das atividades de pesquisa, a

natureza e a participação dos atores envolvidos, traçando-se assim, novas direções de atuação das agências de fomento à pesquisa e à inovação, e apontadas às obrigações dos cientistas e pesquisadores das instituições públicas, devendo nortear as atividades de pesquisa rumo à maior aplicabilidade econômica. Desta forma, introduziu-se as práticas da competição entre grupos de pesquisadores para aquisição de financiamento, confirmando a necessidade de uma agenda de pesquisa (MACULAN, 2001). Este episódio acima descrito fez com que as instituições gerassem processos de reorganização para adequação às mudanças do ambiente utilizando-se das mais diversas estratégias, sob forma de se adaptarem às mudanças do ambiente. Esta nova estrutura poderia oferecer melhores condições às instituições públicas de pesquisa para o cumprimento de suas agendas destacando-se a formação das redes de C&T, que possibilitam a produção mais rápida de conhecimento e captação de recursos nos órgãos oficiais do setor de C&T do Brasil (CHAGAS e ICHIKAWA, 2008, p.96).

Esta reflexão inicial transformada em necessidade, passa a permear toda a década de 1990 representando um período significativo para a política científica e tecnológica brasileira que, gradualmente, passa a perder seu caráter mais amplo e a efetivamente se converter em política de inovação (DIAS, 2009). Nesse período há uma linha de continuidade nas políticas nacionais para a área de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), promovendo a sustentação para as propostas e diretrizes dos programas implementados pelo governo federal entre o final dos anos 1990 e começo dos anos 2000 (SOUZA, 2017). Há grande avanço de práticas ordenadas de gestão em instituições de desenvolvimento tecnológico, sendo que empresas, agências governamentais, universidades e institutos de pesquisa estão aperfeiçoando seu aparelho de gestão a fim de aumentar sua capacidade de prestação de serviços, transferência de conhecimento e garantias de propriedade intelectual. Em 1990, intensificou-se esta ação por diversas instituições relacionadas à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de produtos tecnológicos (MATIAS-PEREIRA, KRUGLIANSKAS, 2005).

No Brasil as universidades reorganizaram-se fazendo uso de escolhas institucionais e organizacionais as mais variadas, principalmente por terem enfrentado nas décadas de 1980 e 1990 restrições orçamentárias. Embora não haja um padrão de reorganização predominante, há dimensões comuns aos processos de reorganização, independentemente da área disciplinar e temática do país, identificando como principais processos de mudanças a diversificação das fontes e mecanismos de financiamento da pesquisa e novas relações contratuais com o Estado, e a redefinição dos atores, seus

espaços e seus papéis que alterou a compreensão das dinâmicas setoriais e disciplinares, (SALLES-FILHO et al, 2000, p.44).

O fator restrição orçamentária promove a busca de fontes não convencionais de financiamento e de novas formas para levantar recursos, tanto públicos quanto privados, havendo necessidade de as instituições adotarem novas práticas, especialmente no aspecto gerencial. Com relação aos países desenvolvidos, a criação do conhecimento ocorre tanto por meio de universidades e laboratórios nacionais, como também envolve a mobilização de expressivos recursos privados de todos os setores da economia. É a figura do Estado, como um agente empreendedor, sujeito a enfrentar riscos das inovações radicais atuando como principal investidor, e ainda, considerando os sistemas de inovação, um ambiente formado por diversos atores e instituições que interagem para a obtenção de resultados, uso e propagação de novas tecnologias. Esta interação pode ocorrer em dois cenários: o sistema de inovação simbiótico, sendo que tanto o Estado como o setor privado beneficiam-se, e o sistema de inovação parasitário em que o setor privado drena os recursos concedidos pelo Estado e não aceita dar sua parcela de contribuição, concomitantemente (MAZZUCATO, 2014). É assim que, no Brasil, as mudanças no papel do Estado não podem ficar circunscritas a uma discussão apenas de restrição orçamentária, ainda que para as universidades a redução de recursos financeiros tenha grande impacto. Na questão institucional, reformar o Estado significa tornar clara a responsabilidade privada sobre pontos então ocultos como atividade pública e reaver para o exercício da esfera pública papéis tanto de caráter social como estratégico. (SALLES-FILHO et al, 2000, p.27).

É nesse sentido que, Etzkowitz e Leydesdorff (2000) destacam que as mudanças vivenciadas no ambiente dinâmico e de acentuada competição vislumbram novas exigências relativas à orientação e às formas de intervenção dos agentes econômicos, governamentais, de ensino e da sociedade como um todo. Emerge assim a universidade empreendedora e a estrutura de apoio à inovação. Esta segunda revolução acadêmica adicionou às duas missões básicas da universidade, ensino e pesquisa, uma terceira, a contribuição com a economia, e tem como palavra-chave a capitalização do conhecimento. Etzkowitz (2004) complementa que o conhecimento científico tem sido avaliado como um dos pilares que amparam o desenvolvimento industrial, dito por alguns como o insumo mais significativo na geração do desenvolvimento econômico. Nesse ambiente, ativa-se a interação universidade-empresa (UE), originando benefícios mútuos.

A Universidade Empreendedora não é uma casualidade. Com efeito, pesquisadores vêm conduzindo investigações cuja envergadura oferece extensas perspectivas deste complexo processo, passando por temas desde o desenvolvimento de políticas e estrutura internas até a importância das incubadoras ou Parques Tecnológicos. O conhecimento desenvolvido na Universidade é para ser difundido na sociedade, seja pelo desenvolvimento de capacidades internas para a transferência de tecnologia e comercialização de pesquisa ou desempenhando papel colaborativo com negócios governamentais e sociedade civil (ETZKOWITZ e ZHOU, 2017).

No que tange a estrutura de uma Universidade Empreendedora, o estudo de Levy, Roux e Wolff (2009) é elucidativo. Tendo por objetivo analisar as modalidades de colaboração entre a Universidade Louis Pasteur, em Estrasburgo, e mais de 1000 agentes do setor privado ao longo de 12 anos, fatores como, o setor de atuação, o tamanho e a distância geográfica da empresa, mostraram-se fundamentais para distinguir a heterogeneidade existente nos padrões de colaboração Universidade-Empresa. Deste resultado, pode-se inferir que características individuais de cada empresa geram demandas específicas na parceria. Dessa forma, o êxito na interação, geração e transferência de conhecimento e inovação científica ficam dependentes da existência de uma estrutura interna da Universidade que seja capaz não apenas de atrair, gerenciar, facilitar e reter estas relações, mas também de impedir eventuais situações de conflito e desistência da parceria.

Ainda que seja possível observar que as universidades em geral constituam escritórios de cooperação com empresas, a articulação do ensino, pesquisa e extensão com a sociedade produtiva fica dependente da existência de políticas internas que promovam o aumento do fluxo da interação e da transferência de tecnologia. Como a pesquisa universitária é uma fonte de conhecimento significativo gerador de inovação, as universidades precisam estabelecer tais procedimentos para promover a interação com a indústria e a comercialização da pesquisa. No entanto, existem fatores fundamentais para o sucesso desta iniciativa: (i) maiores recompensas pelo envolvimento do corpo docente na transferência de tecnologia, (ii) localização da Universidade em uma região com concentração de empresas de alta tecnologia, (iii) o estabelecimento de uma missão universitária clara de apoio à transferência de tecnologia e, (iv) a experiência do escritório nas atividades de transferência de tecnologia, (FRIEDMAN e SILBERMAN, 2003).

Sobre a inovação industrial, esta levanta novas proposições para a pesquisa básica e o envolvimento da universidade melhorando o desempenho da pesquisa básica,

em uma reorganização desta envolvendo empresa e Estado. Nesse contexto a universidade é responsável pela geração de conhecimento, formação de capital humano, e fornece apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico para geração da inovação. A empresa é responsável pela inovação por meio da transformação de pesquisas em produtos e serviços e sua comercialização, e o Estado é responsável pelo incentivo do desenvolvimento científico e tecnológico do país, a partir da definição de políticas públicas e de fomento financeiro de apoio à pesquisa e inovação, (ETZKOWITZ e LEYDESDORFF, 2000). Assim, como as principais contribuições da universidade para as empresas, em relação ao aumento da competitividade, são o apoio à pesquisa e desenvolvimento, a sua capacidade de inovação tecnológica e as parcerias para formação de recursos humanos, há cinco elementos comuns que identificam o caminho da transformação para as universidades: 1) renda diversa advinda de variadas fontes; 2) forte competência de administração; 3) concepção de novos aportes de base; 4) núcleo acadêmico entusiasmado; e 5) cultura empreendedora unificada, (CLARC, 2006).

A interação universidade-empresa é uma conexão de aprendizado e interativo e inovador, contudo, abrange riscos de situações conflitantes. Se não houver bom gerenciamento poderão ocasionar frustrações para ambas as instituições. Assim, as universidades devem fomentar estruturas para coordenar essa interação criando estratégias para articular ensino, pesquisa e extensão com a sociedade (LEVY, ROUX e WOLF, 2009). O desenvolvimento destas estruturas de apoio à inovação é extremamente importante para alavancar, na universidade, condições ao desenvolvimento ao empreendedorismo e à inovação. São espaços que irão formar ambientes de apoio à inovação e ao empreendedorismo que instigam e possibilitam a interação com o setor privado conduzem segurança ao pesquisador em atuar em atividades incomuns no seu dia-a-dia acadêmico, (AUDY, 2006).

Entretanto todas estas questões acima foram reprimidas no contexto brasileiro, pois as pesquisas científicas no Brasil ocorrem especialmente em instituições acadêmicas públicas, que normalmente têm dificuldades em receber recursos financeiros indispensáveis ao desenvolvimento do conhecimento. As relações entre o Estado e suas instituições de pesquisa estão em contradição, pois os governos além de reduzirem as receitas delas, não apresentam soluções para a expansão da capacidade de gerar recursos por parte dessas instituições, além do aspecto burocrático que não oferece condições de agilidade, sendo as instituições submetidas a um conjunto de normas morosas que acabam onerando mais o próprio Estado. Esta morosidade acarreta em menor agilidade e perda

da competitividade afetando diretamente as universidades, (IPIRANGA; FREITAS; PAIVA, 2010).

Outro aspecto da reorganização das universidades é sobre a rede de pesquisa. Esta pode ser determinada como uma junção de indivíduos ou grupos com interesses temáticos de investigação em comum, em que determina uma produção de conhecimento em conjunto. É necessário um nível de participação de cada indivíduo e é esperada a utilização frequente de recursos que reduzam distâncias, como, por exemplo, ferramentas de colaboração online. Mais comumente, os vínculos entre pesquisadores são estabelecidos e alimentados por meio de projetos interinstitucionais, tais como a formação de coletivos de pesquisa, a participação em bancas de avaliação, o envolvimento em programas e cursos de ensino de caráter interinstitucional, a participação em simpósios, seminários e congressos, dentre outros. (SANT'ANA, 2015). A formação destas comunidades em rede ocorre mais pelas relações estruturais que por características específicas compartilhadas, o que permite mais conexão entre si que outros grupos e pessoas de outras partes da rede (CHRISTAKIS e FOWLER, 2010, p.8).

Nesse sentido a rede se constitui quando um grupo de pessoas ou instituições está em contato e tal interação pode ser representada por uma conexão. Uma rede de pesquisa e colaboração transporta os mesmos atributos definidores e acrescenta a eles a intenção de produzir conhecimento. A partir destas redes pode-se observar as relações institucionais dos grupos de pesquisa e sua contribuição para o desenvolvimento institucional, como também se observa os vínculos entre organizações, universidades e empresas (MOCELIN, 2009, p.48).

Quando estas as redes de C&T tornaram-se obrigatórias dentro nos editais de financiamento dos órgãos oficiais do Brasil, fizeram com que as instituições de pesquisa promovessem uma adequação aos novos critérios. As redes de C&T vêm se tornando um dos principais instrumentos de desenvolvimento e difusão tecnológica pois ampliam a capacidade de integração universidade/empresa/comunidade, proporcionando redução de custos com a pesquisa, ampliação do campo de aplicação, maior potencial de difusão e acessibilidade, (CHAGAS e ICHIKAWA, 2008, p.102). Em países emergentes estas características são mais expressivas no incentivo a formação de redes de C&T. Em função das rígidas restrições orçamentárias para o financiamento de atividades de pesquisa em C&T, várias empresas, universidades ou centros de pesquisa se valem das chances dos programas de apoio financeiro especialmente as originárias das agências de financiamento à pesquisa as quais têm como objetivo amparar redes cooperativas de

pesquisa. Para as agências financiadoras, estimular a formação das redes entre instituições de pesquisa pode elevar ao máximo os efeitos dos recursos que aplicam. Já para as equipes de pesquisa, as redes em C&T contribuem dinamicamente para alcançar os objetivos das suas atividades de investigação (AGUIAR, 2001).

Estas redes devem considerar elementos ambientais permitindo incluir categorias de natureza social e institucional, assinalando que o comportamento dos atores nas redes é influenciado por aspectos institucionais de modo regulativo, normativo e cultural-cognitivo (SCOTT, 2008). Neste contexto as redes controlam oportunidades de mudanças tecnológicas, compartilham competências e acesso novos mercados, caracterizando-se por apresentarem coesão entre distintos grupos que são distribuídos por diferentes regiões geográficas e ligados por meios de comunicação (NEWMAN, 2001). As pesquisas ocorridas em redes têm como característica básica o modo de apropriação de seus resultados e que as alianças que se desenvolvem podem ser de dois tipos: aquelas cujos resultados das pesquisas serão de propriedade de uma única empresa, que movimenta parceiros para auxiliá-la no seu desenvolvimento, (*proprietary research*), também chamadas do tipo solução de problema, pois normalmente estão voltadas para uma finalidade específica; e as pesquisas onde várias empresas compartilham seus resultados (*non proprietary research*). A colaboração no segundo tipo acontece na fase pré-competitiva (LONGO e OLIVEIRA, 2000). Também as redes admitem múltiplas interações e transferências entre os grupos e são, sobretudo de grande utilidade para a abordagem de objetivos científicos e tecnológicos que solicitam a complementaridade de diferentes competências e a participação de atores heterogêneos (SEBÁSTIAN, 1999).

Estudos mais recentes apontam que esta reorganização das universidades tem sido impactada, na atualidade, por ações do governo como o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), aumentando a contratação de novos professores doutores ampliando assim a pesquisa, e os programas de mobilidade auxiliaram a promover a formação em diferentes países. Embora se evidencie uma importante transformação nas universidades federais decorrentes desses programas, ainda se faz necessário a integração de esforços entre academia, governo e empresas, (DE SOUZA, FILIPPO e CASADO, 2015). O processo de cooperação em pesquisa sugere o desafio de auxiliar a constituir um coletivo de trabalho em que o acordo com a cooperação domine as outras lógicas, de caráter a abonar a integração de indivíduos ou grupos à rede de pesquisa e fazer com que o grupo seja capaz de suportar as divergências no seu interior, em um ambiente dialógico e de consideração. A pesquisa

conjunta é normalmente atravessada pela tensão junto à produção de conhecimento para a resolução das dificuldades práticas para sua efetivação, assim, é necessário que a coordenação do trabalho seja eficiente para que o grupo possa superar as diferenças existentes em seu interior. A pesquisa colaborativa interuniversitária é uma ação de entendimento dos distintos interesses dos participantes em um interesse comum. Abrange interação e aprendizagem recíproca em um processo relacional em que os participantes de pesquisa decidem seus papéis e põem em ação formas diferenciadas de engajamento, ao mesmo tempo em que cooperam com os outros em nome de um empreendimento coletivo. Assim, as condições para a prática da parceria remetem à integração e à vontade dos atores de transpor as dificuldades, se existentes e proceder na troca de experiências, por meio do diálogo reconhecer e aceitar os saberes de cada um (SANT'ANA, 2015).

Entretanto estas ações não estão sendo capazes de orientar uma adequada reorganização das universidades frente aos desafios atuais. Sob todos os aspectos, vivemos numa era de mudanças que está caracterizada pela velocidade em que ocorrem. Estamos passando por uma experiência única e sem qualquer padrão anterior que possa servir de orientação. Na ciência, a capacidade de observação, apoiada por novos instrumentos e técnicas, e a computação desenvolvida a partir dos anos 2000, proporcionou a convergência de várias disciplinas. Caem as barreiras departamentais e suas fronteiras tornam-se permeáveis dando origem ao que já podemos considerar uma “nova ciência”, que é caracteristicamente interdisciplinar. Se na pesquisa essa atitude apresenta uma melhor conformação e está bem aceita, particularmente no que se refere a modelos, nos cursos de graduação ainda é solenemente ignorada. O modelo vigente na maioria das universidades brasileiras tradicionais está na rota de extinção. É preciso pensar em reorganizar-se em universidade centrada no aprendizado e não no ensino, na pesquisa para avançar o conhecimento e não somente como fator de produção. Urge encontrar diferentes eixos que atendam ao novo cenário científico e tecnológico, em todas as dimensões da universidade, para que esta seja mais ousada e comprometida com o avanço do conhecimento, (BEVILACQUA, 2014).

4. A IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE NANOTECNOLOGIA

As ações promovidas pelo SisNANO foram essenciais como programa nacional para nuclear alguns grupos de pesquisa em NT de várias universidades, incluindo a UFPR e o LCNano, em expectativa que traria uma nova dinâmica para a N&N estimulando, de forma sustentável, a relação universidade-empresa e a transferência de tecnologia. Este programa conseguiu montar pela primeira vez no país uma rede de laboratórios para a sustentação da pesquisa em N&N tanto nas universidades como para atender as empresas. O LCNano como um dos nodos desta rede nacional, a partir de uma infraestrutura existente na UFPR, inicia suas atividades em 2012 com uma equipe científica de 42 pesquisadores de diversas áreas, tendo em comum a P&D em N&N. Este capítulo e o próximo capítulo 5 apresentam os resultados do LCNano, de 2012 a 2018, analisando se estes resultados atenderam os objetivos iniciais do SisNANO. No capítulo 5, a produção científica do seu conjunto de pesquisadores foi analisada para determinar se o LCNano contribui para uma nova dinâmica de produção multidisciplinar e se este emerge como um *hub* tecnológico para a UFPR.

4.1 Materiais e métodos

4.1.1 Fontes de dados

Com o objetivo de medir a influência das metas contidas no SisNANO e o impacto do LCNano na criação de uma nova de rede e cooperação de produção científica no âmbito da UFPR, foram utilizadas várias fontes de dados, são elas:

- Lattes-CNPq (LATTES, 2019)
- DGP-CNPq (LATTES, 2019)
- LCNano
- MCTI-SisNANO
- Sistema Integrado de Gestão Acadêmica da UFPR (SIGA, 2019)
- Scopus (SCOPUS, 2018)
- Crossref (CROSSREF, 2018)
- Entrevistas com pesquisadores do LCNano (ENTREVISTAS, 2019)
- Portal de periódicos CAPES (CAPES, 2019)

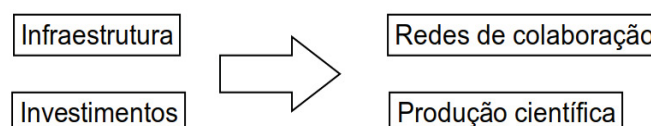
Para constituir a população estudada, dentro dessas fontes, foram consultados os dados referentes a:

- Todos os pesquisadores de todas as áreas (laboratórios e centros) integrantes do LCNano;
- Todos pesquisadores integrantes do grupo de controle (não SisNANO e não NT), extraídos da população de pesquisadores e laboratórios de todos os programas de pós-graduação da UFPR que possuem pelo menos um pesquisador LCNano vinculado;
- Todos laboratórios e equipamentos multiusuários do LCNano;
- Todos os grupos de pesquisa, existentes e novos com pelo menos um pesquisador LCNano que estejam registrados no Diretório de Grupo de Pesquisa (DGP).

Após a extração, os dados foram organizados em quatro tipos principais:

- Infraestrutura: dados sobre o número de laboratórios, equipamentos, cursos de pós-graduação e discentes da pós-graduação relacionados aos pesquisadores do LCNano, advindos primariamente de relatórios técnicos dos laboratórios, documentos de gestão do LCNano e do SIGA;
- Investimentos;
- Redes e colaboração: coautoria em publicações científicas e grupos de pesquisadores, advindos do Lattes-CNPq e DGP;
- Produção científica: título, autores, área da produção, palavras-chave, resumo e texto completo da publicação, advindos do Lattes, Scopus e Crossref;

No contexto deste trabalho, os dois primeiros grupos de dados são informações referentes aos recursos e impactos das novas políticas sobre o LCNano cuja análise está neste capítulo 4. Por outro lado, os dois últimos grupos estão relacionados às implicações da implantação dessas políticas e será objeto de análise dos dados no capítulo 5.



O Quadro 11 sintetiza as dimensões relevantes para as variáveis e indicadores empregados para a análise dos dados coletados. A produção intelectual em publicações

foi classificada de acordo com a tabela de tipo e subtipo de produção publicada pela CAPES, científica-técnica-artística, com suas respectivas classificações QUALIS⁵ de periódicos e livros (CAPES, 2014).

Quadro 11: Quadro sintético de variáveis e indicadores

Infraestrutura	Investimentos	Redes e colaboração	Produção científica
DIMENSÕES RELEVANTES			
Relação Universidade-Empresa Convergência Multidisciplinaridade Hub Tecnológico			
N. laboratórios • área NT • área não NT • privados parceira LCNano • Resultados N. equipamentos multiusuários • UFPR • LCNano Privados parceria	% de crescimento • SisNANO • UFPR • Privados • LCNano receitas próprias	grupos DGP NT • taxa crescimento % • hibridização público-privado % • densidade pesquisador grupos DGP não NT com pesquisador LCNano • taxa crescimento % • hibridização público-privado % • densidade pesquisador	N. de publicações • Área SisNANO • Área LCNano • Especialidades • Em NT • Não NT e integrante LCNano • Coautoria SisNANO, LCNano, privada, nacional, internacional
Taxa crescimento equipamentos • área NT área não NT		Pesquisadores em NT • Taxa crescimento • Centralidade de rede NT • % cooperação privada	Patentes • Em NT • Todas as áreas LCNano • Em co-titularidade privada
Taxa crescimento serviços • área NT • área não NT		• N. contratos de pesquisa NT e não NT	Serviços tecnológicos a indústria
Taxa crescimento uso compartilhado • % Tempo LCNano • % Tempo privados parceria		• N. licenciamentos	Taxa crescimento área NT
Cursos de pós • N. pesquisadores • N. alunos titulados na pós			Taxa crescimento área não NT

Fonte: o autor.

⁵ Elaborado pela CAPES, é uma classificação de periódicos nacionais e internacionais, nos quais haja publicações (periódicos, anais de eventos e livros) que representem a produção científica dos programas de pós-graduação brasileiros de todas as áreas do conhecimento. Tem por objetivo aperfeiçoar os processos de avaliação dos Programas de Pós-Graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado), ponderando a qualidade da produção intelectual dos docentes e pesquisadores.

Variáveis e Indicadores:

- **Área de conhecimento – especialidades (LCNano)**
refere-se às áreas de conhecimento e especialidades dos 42 pesquisadores integrantes do LCNano. Serão identificadas as competências do laboratório por áreas e especialidade e o perfil da produção científica do laboratório no período de 2012 a 2018;
- **Áreas, classes, tempo, ensaios, resultados (laboratórios)**
dados de utilização dos laboratórios constituinte do LCNano em suas atividades de pesquisa interna, para a comunidade científica da UFPR e para o compartilhamento de uso dos seus equipamentos com as empresas. Permite avaliar se o LCNano atendeu aos objetivos iniciais da política do SisNANO e se houve crescimento e consolidação da RUE através do laboratório;
- **Produção científica: publicações, patentes, serviços técnicos, transferência tecnológica, consultoria (pesquisador)**
produção científica do grupo dos 42 pesquisadores do LCNano (grupo nano) e do grupo dos demais pesquisadores que participam dos programas de pós-graduação onde há pelo menos um pesquisador do grupo nano atuando (grupo não nano). Permite identificar e analisar o perfil da produção científica quanto as áreas e especialidades, aplicando o modelo de análise tópicos para determinar se no período de 2012 a 2018 emergem novos tópicos no conjunto desta produção científica, comparados com o período anterior de 2004 a 2011, e se algum tópico relaciona-se a área de NT. Também será analisado se, nesse mesmo período de 2012 a 2018, o conjunto da produção científica aborda mais áreas e especialidades relacionadas a NT com relação ao período anterior;
- **Redes, transbordamento (coprodução)**
redes de pesquisa inferidas da coautoria em produção científica do grupo nano e dos dados referentes aos grupos de pesquisa certificados pelo DGP/CNPq e selecionados aqueles onde há na equipe científica pelo menos um pesquisador integrante do LCNano;
- **Entrevistas: análise de conteúdo das falas**
entrevistas realizadas com os pesquisadores responsáveis pelos eixos transversais e verticais do LCNano e da coordenação deste laboratório. As falas serão analisadas para trazer a percepção desses pesquisadores quanto às questões

analisadas nesta pesquisa, das atividades do laboratório e da política do SisNANO e seus impactos no LCNano.

4.2 Metodologia

Após definir a origem e organização das informações necessárias da pesquisa, o processo foi dividido em quatro partes: (1) obtenção e avaliação dos materiais referentes à infraestrutura e investimentos relacionados ao LCNano, objeto de análise deste capítulo 4, e (2) obtenção dos dados de redes de colaboração e produções científicas a partir das fontes mencionadas, (3) pré-processamento e organização dos dados e (4) análise exploratória dos dados com construção de visualizações e modelos de inferência, que será objeto de análise no capítulo 5.

4.2.1 Obtenção e avaliação dos materiais referentes à infraestrutura e investimentos relacionados ao LCNano

O levantamento dos dados da infraestrutura do LCNano foi realizado por pesquisa documental do projeto inicial de implantação do laboratório (LCNano, 2012), do relatório de atividades e prestação de contas do LCNano para o período de 2014 a 2018 (LCNano, 2018), e das entrevistas realizados com os pesquisadores do LCNano por meio de um questionário com questões relativas a percepção dos mesmos sobre a política de nanotecnologia a respeito da implantação do SisNANO, avaliando, em particular, seus efeitos sobre o LCNano (ENTREVISTAS, 2019). As questões respondidas nas entrevistas foram:

1. Faça uma avaliação da política de nanotecnologia a respeito da implantação do SisNANO. Avalie, em particular, seus efeitos sobre o LCNano.
2. O financiamento dado foi suficiente para os objetivos do conjunto do SisNANO? E para o LCNano?
3. Como o LCNano vem operando desde 2015, com o enfraquecimento e paralisação das ações para nanotecnologia?
4. O SisNANO estimulou uma nova dinâmica de laboratórios de NT no país ou somente galvanizou o que já existia? Quais os aspectos novos, se houver?
5. A implementação do LCNano trouxe mais interdisciplinaridade à pesquisa em NT na UFPR? Gerou uma dinâmica nova de pesquisa?

6. O LCNano foi capaz de ampliar a relação universidade-empresa? Pode estimar quantos projetos Universidade-Empresa têm sido desenvolvidos pelo LCNano?
7. Quais as perspectivas do LCNano no curto e médio prazo?

Foram obtidos os dados da infraestrutura inicial dos equipamentos já existentes no momento de sua formação em 2012, e as novas aquisições de equipamentos, partes e componentes que foram adquiridos ao longo desse período. Os investimentos realizados foram identificados através de pesquisa nos documentos publicados pelo MCTI para o SisNANO (MCTI, 2012), e do relatório de atividades e prestação de contas do LCNano para o período de 2014 a 2018 (LCNano, 2018). Esses dados foram complementados através de pesquisa documental nos relatórios de atividades anual de cada laboratório integrante do LCNano para identificar os investimentos oriundos de recurso próprios arrecadados na prestação de serviços de cada laboratório e oriundos de outros projetos de pesquisa.

4.3 A constituição do LCNano

O LCNano foi aprovado em 2012 para integrar como laboratório associado a plataforma do SisNANO. Recebeu recursos financeiros para investimentos em infraestrutura da pesquisa em N&N em um processo que demandava um planejamento integrado da pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos, e a geração de patentes incluindo parcerias com o setor produtivo para a inovação.

A proposta do LCNano foi elaborada pela comunidade científica da UFPR em Nanociências e Nanotecnologia (N&N), em resposta à indução do MCTI com a primeira chamada pública de adesão ao SisNANO (LCNANO, 2012). Esta chamada lançou as bases sobre as quais as instituições de P&D em N&N pudessem submeter seus projetos de adesão ao SisNANO como seus laboratórios associados (SISNANO, 2015).

Teve como principais estratégias para sua criação: *(i)* consolidar a UFPR como referência Regional e Nacional em pesquisa de nanotecnologia de acordo com as demandas dos diferentes públicos, tanto do setor privado como público, com foco na produção, manipulação, caracterização e aplicações de nanopartículas; *(ii)* promover a formação e capacitação de recursos humanos, a educação em nanotecnologia e sua divulgação, e *(iii)* prestar serviços para empresas e instituições de pesquisa. Para tanto, inicialmente, o LCNano foi constituído de uma infraestrutura de pesquisa voltada para o

desenvolvimento nas áreas de alimentos, águas, celulose, materiais e dispositivos e na aplicação destes materiais nas áreas de desenvolvimento de energias renováveis, sensores, saúde e nanobiotecnologia.

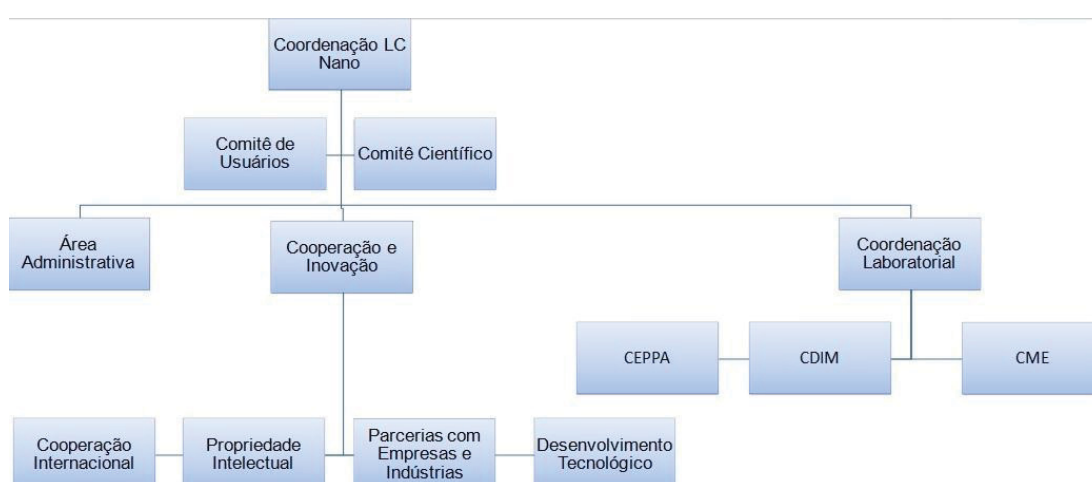
Esta infraestrutura envolveu diretamente 12 laboratórios da UFPR e 42 pesquisadores em N&N de diferentes áreas, cujas atividades iniciais visaram atingir uma maior coesão e integração nas questões interdisciplinares que envolvem a N&N, e a oferta qualificada de serviços e pesquisa em NT para atender demandas das empresas. Os serviços realizados contam com ensaios acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO (CGCRE), (LCNano, 2013). Para atender a esses objetivos e buscar a coesão da pesquisa das suas diversas áreas em torno da N&N para o desenvolvimento de produtos e serviços nas suas áreas de competência, o LCNano focou suas metas em:

- Criar um ambiente cooperativo entre os pesquisadores, promovendo uma maior celeridade no alcance dos objetivos específicos de cada linha de ação;
- Propiciar uma maior interação entre a Academia e o Setor Produtivo, visando parcerias, auxílio especializado e o desenvolvimento de produtos e processos inovadores;
- Manter e aprimorar as facilidades técnicas para o crescimento do LCNano como um laboratório de excelência;
- Gerar recursos humanos especializados capazes de diversificar e expandir o desenvolvimento científico e tecnológico no País.

Sua estrutura de gestão científica e administrativa está representada na Figura 3. O Comitê Científico define as prioridades estratégicas do LCNano e aprova e avalia os projetos de pesquisa que utilizem das facilidades instaladas, bem como está a seu encargo a aprovação para criação de novas redes e para a transferência tecnológica. O Comitê de Usuários estabelece as normas e padrões de utilização da infraestrutura laboratorial, tanto para projetos internos quanto externos e controla a agenda de uso dessas facilidades. A Unidade Administrativa é responsável pelos contratos e convênios envolvendo fontes de financiamento, a relação universidade-empresa e pela gestão financeira dos recursos aplicados, incluindo a prestação de contas. A Unidade de Cooperação e Inovação atua na gestão da cooperação nacional e internacional, da propriedade intelectual, das parcerias com empresas e indústrias e do desenvolvimento tecnológico. A Unidade Laboratorial exerce as atividades de pesquisa, operacionaliza os equipamentos dos laboratórios integrantes do LCNano e presta os serviços técnicos a terceiros conforme previsto na

política do SisNANO. O tempo de uso previsto para as facilidades do laboratório tem uma distribuição com 55% para projetos da comunidade científica, 20% para projetos do LCNano, 20% para prestação de serviços pelo LCNano e 5% para manutenção dos equipamentos e capacitação técnica, (LCNano, 2013).

Figura 3: fluxograma da estrutura de gestão científica e administrativa do LCNano



Fonte: Projeto LCNano, 2012

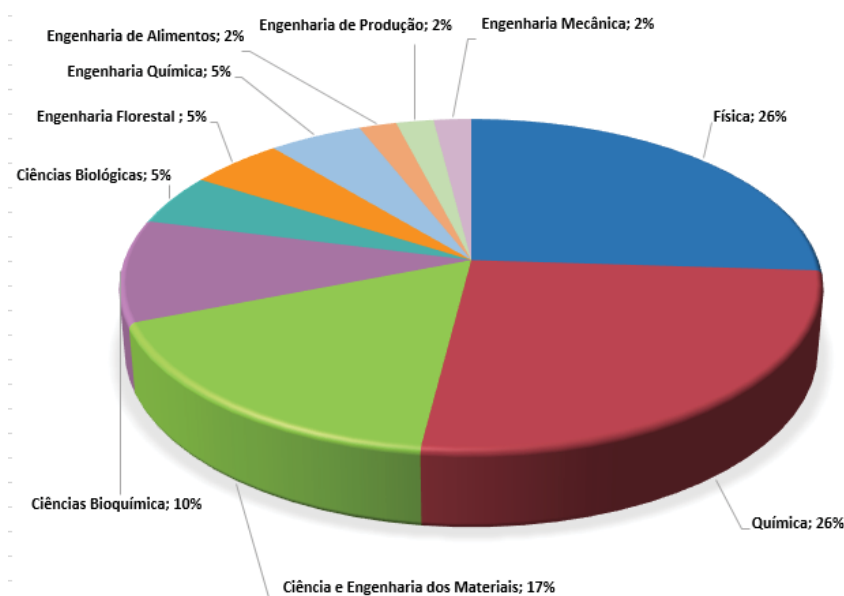
O LCNano levou em conta, para sua formação, um modelo participativo, que agregou a comunidade envolvida com N&N em torno da gestão, operação e utilização do Laboratório, cuja estrutura conta com as áreas de atuação em caracterização, síntese e fabricação de nanopartículas, nanocompósitos e materiais nanoestruturados. Tem como finalidade e missão, consolidar e ampliar na UFPR a pesquisa em NT, contribuindo para o desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação. Seus objetivos são: (i) incentivar atividades de pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e a transferência de tecnologia entre as instituições de pesquisa e empresas; (ii) expandir e consolidar a infraestrutura e desenvolvimento da UFPR para Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia; (iii) mostrar a capacidade que o estado do Paraná possui para a instalação de novas indústrias com base em nanotecnologia e sustentabilidade; (iv) promover a inovação em nanomateriais a partir do uso de recursos naturais renováveis; (v) formar, capacitar e fixar recursos humanos em Nanociência, Nanobio e Nanotecnologia; (vi) promover a educação em nanociências, nanobio e nanotecnologias e sua divulgação; (vii) ampliar e consolidar a pesquisa e inovação tecnológica nas suas principais áreas: nanofabricação,

desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência, nanotecnologia, processos em nano eletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos, nanosensores, nanoatuadores e materiais nanoestruturados; (viii) promover através da inovação a obtenção de patentes em produtos e/ou processos; (ix) disponibilizar a infraestrutura do LCNano e seus serviços à comunidade científica e para as empresas, ampliando a capacidade de inovação do estado do Paraná e do Brasil, e (x) desenvolver programas de cooperação internacional, em particular junto aos países do MERCOSUL e da Europa, (LCNano, 2013).

O Gráfico 11 mostra as áreas do conhecimento representadas pelos 42 pesquisadores dos laboratórios do LCNano e suas proporções com relação às atividades de pesquisa em N&N. Considerando o número de grupos de pesquisa e de pesquisadores envolvidos com a NT, as áreas de Física e Química representam 56% do total das atividades de pesquisa enquanto as áreas de Engenharias e Tecnologia representam 20% do total. Essa proporção demonstra uma maior atuação dos grupos de pesquisa em caracterização e compreensão das propriedades físicas e químicas de nanopartículas e nanomateriais do que em produção de NT. Isto sugere que a estrutura atual do LCNano está mais voltada à compreensão das propriedades físico-químicas da nanomatéria e não em pesquisas aplicadas mais próxima das da inovação tecnológica.

A Figura 4 mostra a rede constituída pelos pesquisadores do LCNano, aqui identificados de P1 (pesquisador1) a P42 (pesquisador42). Nesta rede estão representadas as suas respectivas posições com relação aos eixos verticais a transversais e, os principais atores nacionais e internacionais que contribuíram para a formação do LCNano nesta fase inicial, com o ponto central de gestão técnico-científica (P17) em torno do qual foi estabelecido o LCNano e as conexões externas com o SisNANO através do MCTIC e SIBRATEC, Ministério das Relações Exteriores (MRE) e o projeto de regulação em NT da União Europeia (NanoReg-EU). Este projeto inicial para institucionalizar o LCNano procurou atender à exigência da política do SisNANO em apresentar uma única estrutura de N&N para a UFPR, levando-se em consideração as diversas competências nas áreas de nano já existentes no momento desta criação, além da união de diferentes grupos de pesquisas em N&N em torno de um interesse comum.

Gráfico 11: Representação das áreas do conhecimento dos 42 pesquisadores do LCNano

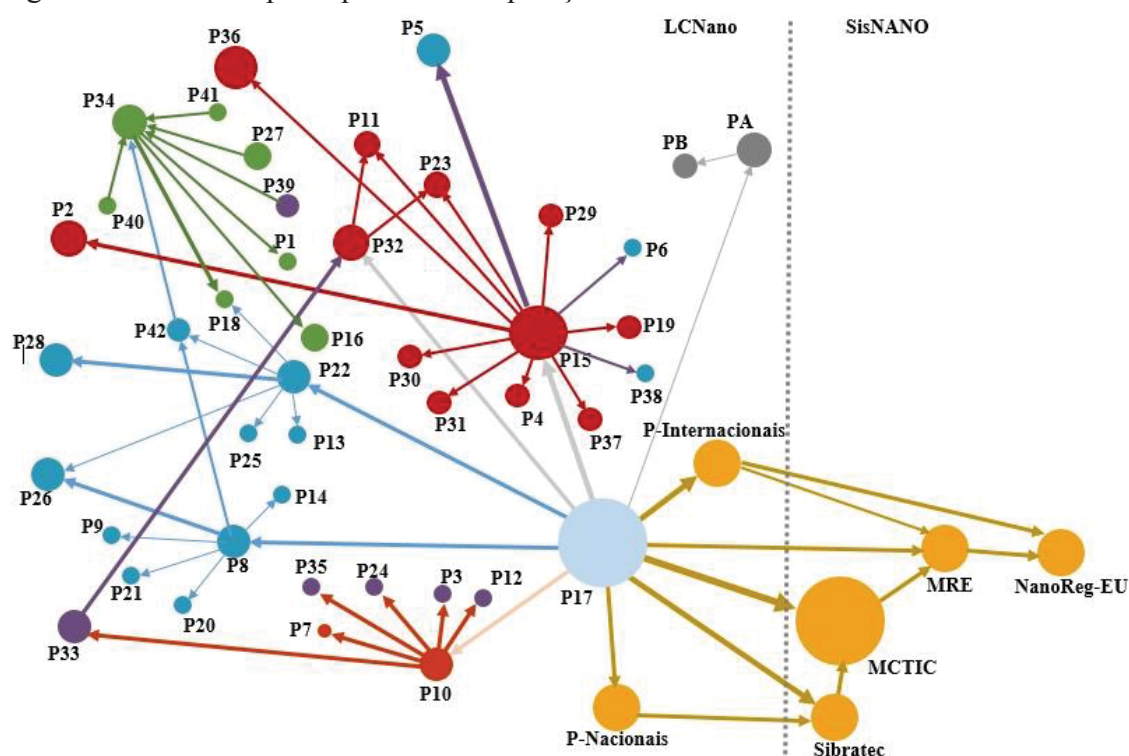


Fonte: Preparado pelo autor

Da questão inicial de aderência da UFPR ao SisNANO, a Coordenação de Pesquisa da UFPR (CPE) e seis outros pesquisadores da UFPR, propuseram um projeto integrado no qual a comunidade de pesquisa e laboratórios em N&N participassem através de uma nova entidade institucional, o LCNano. Através da possibilidade de oferta de novos recursos (humanos e não humanos) para as diversas áreas da NT, os demais pesquisadores são inscritos e mobilizados, em um movimento de sucesso desses dispositivos de interesse. A Figura 4 mostra o ponto de passagem obrigatório, criado pelo LCNano, representado pelo pesquisador P17. Esta posição central deve-se a dois fatores principais: o primeiro para atender ao quesito do edital de formação da rede do SisNANO que exigia a participação de um único laboratório por instituição, e segundo pela necessidade de agregar as várias competências em nano na UFPR sob uma única gestão, ficando definido então a vinculação institucional deste a cargo da Coordenação de Pesquisa da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Os atores centrais de maior peso (P10, P8, P22, P32, P15) são os porta-vozes da comunidade de pesquisa de cada um dos eixos verticais e transversais, com seu peso relativo proporcional às atividades de pesquisa de cada um dos eixos. Cada um desses pesquisadores, de forma isolada, era o coordenador da respectiva área de pesquisa que correspondia a cada um dos eixos transversais e verticais do LCNano, e que foi entendido como um movimento natural a sua elevação para coordenação dos respectivos eixos. Já os atores de maior peso nas bordas do grafo, P33, P26, P28, P2, P34, P36, P5, representam os porta-vozes do LCNano

para com os demais membros da comunidade científica da UFPR, além das fronteiras do LCNano, atuando como elos da rede de transdisciplinaridade da nano. Esses atores também representam comunidades epistêmicas científicas da UFPR, em um primeiro nível as comunidades epistêmicas científicas de suas áreas de conhecimento, conforme apresentado no Gráfico 11, e em segundo nível a comunidade epistêmica científica de NT da UFPR, influenciando diretamente as decisões institucionais relativas ao LCNano ao liderar os eixos de pesquisa conforme mostra a Figura 4 (HAAS, 1992).

Figura 4: LCNano – principais atores e posições.



Fonte: Preparado pelo autor.

Novas cooperações e intercâmbios são estabelecidos para o LCNano, através da CPE, com os Institutos Senai de Inovação (ISI) para as parcerias nacionais (PNACIONAIS) e para as parcerias internacionais (PINTERNAC) estas são estabelecidas com a Comissão que representa o Projeto para Regulação da Nanotecnologia da Comunidade Europeia (NanoReg), através da Coordenação para segurança da NT, e são mediadas pelo Ministério das Relações Exteriores do Brasil (MRE). Para isto o LCNano e o ISI promoveram o I Workshop de Integração NanoReg da União Europeia (I WorkNano), de 23 a 24 de setembro de 2014 em Curitiba, evento integrado às atividades da *EC-Brazil mission on NanoSafety* que ocorreu de 22 a 26 de

setembro de 2014. Na Figura 4 as cores usadas referem-se à legenda de área de conhecimento do Gráfico 11 e têm o propósito de identificar a área do conhecimento da especialidade de cada pesquisador, independente do eixo horizontal ou transversal a que esteja vinculado. A cor amarela identifica todos os actantes com instituições externas à UFPR. A cor cinza identifica os atores na área de pesquisa em regulação e com atividades relacionadas ao LCNano, mas que ainda não participam da estrutura formal do mesmo (PA, PB). O tamanho dos nós é proporcional a sua representatividade na arena do LCNano, seja dos atores internos ou dos externos. Os atores internos influenciam através das linhas de pesquisa dos laboratórios vinculados e das prioridades dos projetos submetidos ao LCNano, e os externos influenciam nas políticas de pesquisa como é o caso do SisNANO, na formação das redes de pesquisa cooperada e outras parcerias nacionais e internacionais, como é o caso do ISI, SisNANO e MRE, e no tema da regulação como é o caso do NanoReg.

4.4 Identificação dos grupos de pesquisa e redes

No processo de construção do LCNano, houve o desafio maior de unir e organizar ações multi e interdisciplinares, base da geração de NT, ação esta promovida pela Coordenação de Pesquisa da UFPR (CPE). Neste modelo as 12 unidades integrantes do LCNano dentre laboratórios e centros, bem como os seus respectivos grupos de pesquisa, que estavam apoiados nas principais áreas de N&N na UFPR, foram estruturadas em quatro eixos horizontais de síntese e fabricação em NT, e dois eixos transversais de caracterização. Os eixos horizontais são os seguintes:

- Nanociências no Desenvolvimento de Materiais (NDM)
- Nanotecnologia Aplicada a Saúde (NAS)
- Nanotecnologia Aplicada ao Desenvolvimento de Energias Renováveis (NER)
- NanoBiotecnologia Aplicada (NBA)

O NDM tem como foco a atuação na síntese e fabricação de diversos materiais: tais como nanopartículas metálicas, filmes epitaxiais magnéticos, nanoestruturas de carbono, nanofilmes de celulose e de hidrocolóides, nanoglicomateriais, materiais lamelares e compostos de intercalação e nanocompósitos poliméricos.

O eixo NAS tem por objetivo o desenvolvimento de aplicações de materiais nanoestruturados na área de saúde nos campos de diagnóstico, entrega de drogas de forma vetorizada, terapêutica e curativa.

O eixo de nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de energias renováveis (NER) consiste no desenvolvimento de células solares utilizando polímeros semicondutores.

O NBA visa à aplicação de materiais em escala nanométrica para atuarem nas áreas de extração de nanofios de celulose aplicados no setor de alimentos, mais especificamente em frutas e legumes. Assim como no campo de saúde e beleza no desenvolvimento de protetores solares a base de compósitos de cristais lamelares e moléculas orgânicas intercaladas.

Os eixos transversais foram estruturados em torno das duas atividades fundamentais nas etapas de produção e desenvolvimento de nanomateriais e nanoestruturas para futuras aplicações. Estes eixos são:

- Caracterização Morfológica, Química e Estrutural (MQE)
- Caracterização das Propriedades Físicas e Atividades Biológicas (PFAB)

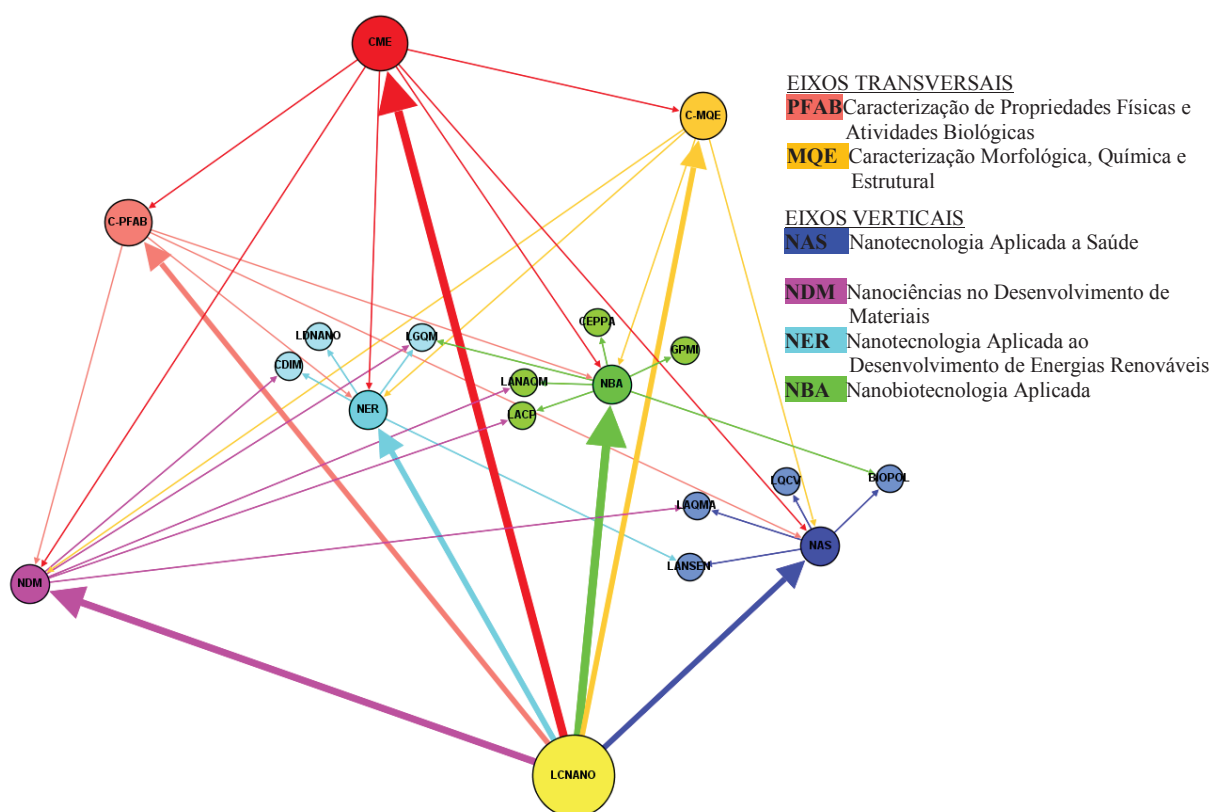
O eixo MQE tem como objetivo dar suporte na caracterização por técnicas de microscopia eletrônica, microscopia de força atômica, por microscopia confocal, espalhamento de luz e raios-X, diversas técnicas de espectroscopias sejam ópticas ou eletrônicas e por técnicas de caracterização estrutural seja por difração de raios-X ou elétrons. (Centro de Microscopia Eletrônica).

De forma complementar o eixo transversal PFAB tem como foco suportar as caracterizações das propriedades físicas (ópticas, elétricas, magnéticas e térmicas) e químicas, assim como na caracterização por ensaios específicos da atividade biológica dos materiais e ambientais (ar, água, solos). (CDIM, CEPPA, Celulose e Papel, Centro de Raios-X, Centro de Ressonância Magnética, Centro de Genômica e Espectroscopia de Massa).

Esses eixos representam os interesses de pesquisa dos grupos de N&N da UFPR, e contaram inicialmente com a participação de 42 pesquisadores de diferentes especialidades (LCNANO, 2012). Na Figura 5 estão representados os quatro eixos horizontais de síntese e fabricação em NT, os dois eixos transversais de caracterização e os laboratórios e centros de pesquisa a eles vinculados. Ressalta-se a posição estratégica do Centro de Microscopia Eletrônica (CME), que perpassa as atividades de todos os eixos e laboratórios. Também o eixo vertical NDM tem um peso relativo maior porque desenvolve materiais aplicados aos demais eixos verticais, assumindo um caráter transversal. O peso relativo das arestas do grafo entre o LCNano e os Eixos Verticais e

Transversais e o CME, é proporcional ao número de pesquisadores do LCNano que atuam em cada um deles com relação ao grupo de pesquisa correspondente.

Figura 5: LCNano – eixos verticais, transversais e laboratórios integrantes

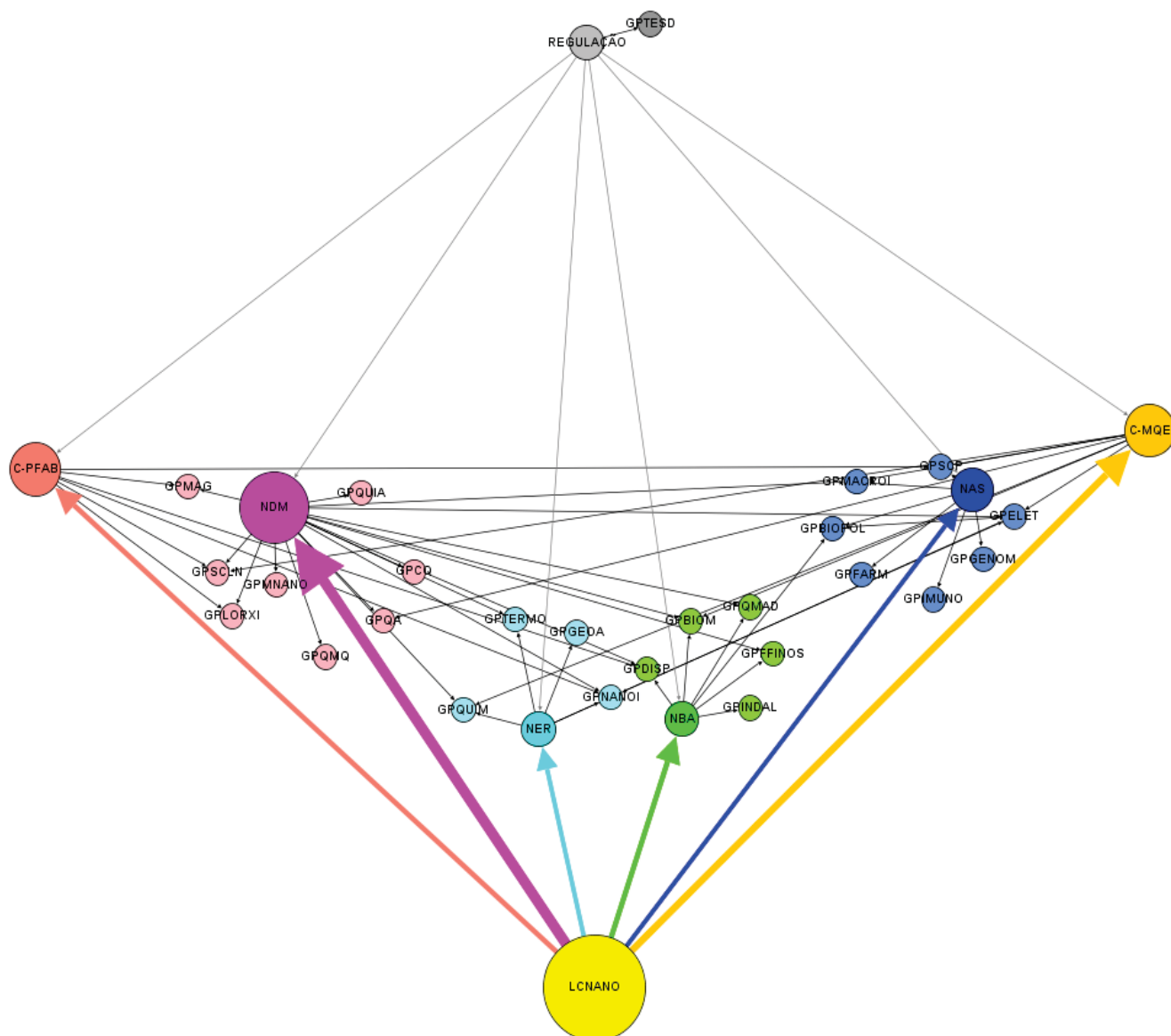


LABORATÓRIOS PARTICIPANTES: CME-Centro de Microscopia Eletrônica; CDIM-Centro de Desenvolvimento e Inovação em Materiais e Biomateriais; LDNANO-Laboratório de Dispositivos Nanoestruturados; LGQM-Laboratório de Química de Materiais; LACP-Laboratório de Celulose e Papel; LANAQM-Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira; CEPPA-Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos; GPPI-Grupo de Pesquisa em Macromoléculas e Interface; LANSSEN-Laboratório de Nanoestruturas para Sensores; LAQMA-Laboratório de Química de Materiais Avançados; LQCV-Laboratório de Química de Carboidratos Vegetais; BioPol-Laboratório de Biotecnologia em Polissacarídeos

Fonte: Preparado pelo autor, gerado com GEPHI e com dados do Projeto LCNano, 2012

As cores foram usadas para identificar cada um dos eixos e os laboratórios vinculados em cada um, não tendo significado de valor. A orientação das arestas reflete a orientação das áreas estratégicas oriundas da política do SisNANO. A construção desta rede deu-se em 2011, a partir do projeto inicial do LCNano como integrante da rede maior do SisNANO, e reflete a multidisciplinaridade dos eixos de pesquisa através da participação dos pesquisadores de cada grupo de pesquisa entre os eixos. O peso relativo de cada nó do grafo reflete a proporção de pesquisadores em cada um com relação ao total de pesquisadores do LCNano. As redes de pesquisa e suas inter-relações são apresentadas na Figura 6.

Figura 6: Grupos de Pesquisa certificados por área do LCNano e suas relações com eixos do LCNano.



Fonte: Preparado pelo autor, gerado com GEPHI, com dados do Diretório de Grupos de Pesquisa, CNPq, 2015

Este grafo mostra as áreas de N&N na UFPR com grupos de pesquisa certificados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (DGP), onde as áreas e grupos em cinza, (parte superior do grafo), são aqueles ainda não contemplados formalmente na estrutura do LCNano, destacando o Grupo de Pesquisa em Tecnologias Emergentes, Sociedade e Desenvolvimento (GPTESD) com linha de pesquisa para Políticas e regulação de NT, áreas prioritária para o LCNano e SisNANO e com uma posição transversal a todos os eixos do LCNano. As demais cores usadas identificam os eixos horizontais e transversais

e os grupos de pesquisa vinculados a cada um deles, não tendo significado de valor. O tamanho dos nós e o peso das arestas é proporcional ao número de grupos e linhas de pesquisa vinculados a partir do LCNano para cada um dos eixos horizontais e transversais.

Nesses grupos de pesquisa estão presentes especialidades em síntese e caracterização de nanopartículas e materiais nanoestruturados, síntese de nanotubos de carbono e grafeno, nanosensores, nanobiosensores, nanopolímeros e nanocatalisadores, desenvolvimento de nanofármacos, nanoencapsulamento e nanocarreadores, e na produção de materiais e produtos nanoestruturados com aplicações diversas nas indústrias de energia, alimentos, madeira e recursos florestais. O Quadro 5 apresenta a área de formação e especialidade dos pesquisadores do LCNano, e está organizada por ordem alfabética de área de formação e especialidade.

Quadro 5: Áreas de formação e especialidades dos pesquisadores LCNano

Área de formação do pesquisador	Especialidade
Ciência e Engenharia dos Materiais	Engenharia de superfícies e manufatura aditiva com nanopartículas
Ciência e Engenharia dos Materiais	Materiais nanoestruturados com memória de forma, caracterização nanomecânica, nanoindentação e filmes finos
Ciência e Engenharia dos Materiais	Nanobiomateriais e óxidos nanoestruturados, caracterização de nanopartículas e materiais nanoestruturados
Ciência e Engenharia dos Materiais	Nanoindentação, desenvolvimentos de nanosensores
Ciência e Engenharia dos Materiais	Nanotecnologia no setor de base florestal, desenvolvimento e produção de nanoproductos para indústria madeireira
Ciência e Engenharia dos Materiais	Preparação e caracterização de nanocompósitos multifuncionais
Ciência e Engenharia dos Materiais	Sistemas nanoparticulados, nanoquitossana
Ciências Biológicas	Interação biológica de nanopartículas, nanofármacos
Ciências Biológicas	Síntese de nanopartículas e nanofármacos
Ciências Bioquímica	Desenvolvimento de sistemas nanoparticulados para novos fármacos, interação de nanopartículas com meio biológico
Ciências Bioquímica	Interação e fixação biológica de nanopartículas
Ciências Bioquímica	Nanobiotecnologia, desenvolvimento de nanoproductos voltados para a saúde humana
Ciências Bioquímica	Nanoglicobiotecnologia, desenvolvimento de nanocompósitos e nanoagregados, nanoestruturas de polissacarídeos

Engenharia de Alimentos	Produção de nanomateriais bioativos e nanoencapsulados, obtenção de nanocelulose, nanofibrilas e nanolignina
Engenharia de Produção	Desenvolvimento de produtos nanoestruturados
Engenharia Florestal	Caracterização de nanofilmes de celulose nanofibrilada, produção de nanosílica e filmes nanocelulósicos
Engenharia Florestal	Obtenção de nanomateriais e nanocompósitos, nanocelulose, nanofibrilas, nanolignina, nanoquitossana
Engenharia Mecânica	Síntese de nanopartículas e materiais nanoestruturados
Engenharia Química	Processos oxidativos avançados com nanopartículas, síntese de nanocatalisadores
Engenharia Química	Síntese de nanocatalisadores e nanosensores
Física	Caracterização de nanopartículas e materiais nanoestruturados
Física	Caracterização de nanopartículas e nanoestruturas, desenvolvimento de nanoproductos
Física	Desenvolvimento de dispositivos nanoestruturados, síntese de nanotubos de carbono e nanopartículas
Física	Desenvolvimento e caracterização de nanoestruturas semicondutoras
Física	Nanoindentação e nanotribologia, propriedades nanomecânicas
Física	Semicondutores e nanoestruturas, caracterização de materiais nanoestruturados
Física	Síntese de filmes finos ferromagnéticos de nanopartículas, propriedades magneto-ópticas de nanopartículas
Física	Síntese de nanoestruturas magnéticas, caracterização de nanopartículas e materiais nanoestruturados
Física	Síntese de nanofios e nanopartículas de metais, nanodispositivos magnéticos
Física	Síntese de nanotubos de carbono, nanosensores químicos e nanoestruturas de carbono ao agronegócio
Física	Síntese e caracterização de nanopartículas e nanoestruturas
Química	Desenvolvimento de materiais nanoestruturados, nanobiosensores, nanopolímeros condutores
Química	Desenvolvimento de nanocatalisadores e nanomateriais, nanocompósitos para indústria de resíduos

Química	Desenvolvimento de nanocompósitos e nanomateriais para aplicações ambientais
Química	Desenvolvimento de nanopartículas biopoliméricas, nanotecnologia farmacêutica
Química	Morfologia de nanoagregados poliméricos, síntese de nanocompósitos, nanoencapsulamento, nanotoxicologia
Química	Obtenção de nanocelulose, nanofibrilas e nanolignina, Desenvolvimento de materiais nanoestruturados
Química	Síntese de nanocompósitos poliméricos, nanofibras e desenvolvimento de materiais nanoestruturados
Química	Síntese de nanomateriais derivados do carbono, nanocatalisadores, nanosensores
Química	Síntese de nanopartículas e materiais nanoestruturados
Química	Síntese e caracterização de nanoestruturas e materiais modificados por nanopartículas, desenvolvimento de nanoprodutos
Química	Síntese e produção de nanopartículas, filmes finos, nanotubos de carbono e nanocristais

Fonte: Plataforma Lattes-CNPq, 2019

Para apoiar suas atividades em P&D o LCNANO formou estreita parceria em NT com a Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP) e os Institutos Senai de Inovação (ISI), tanto na área de eletroquímica, baseada na cidade de Curitiba-PR, como na área de Celulose, baseada na cidade de Telêmaco Borba-PR. Ampliando sua relação com empresas e instituições de ensino e pesquisa, a partir de 2012, estabeleceu cooperação técnico-científica em NT com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), com sede em Curitiba-PR, com o Instituto Carlos Chagas (FIOCRUZ), com sede em Curitiba-PR, com o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Diagnóstico em Saúde Pública (INCT-INDI), com sede em Curitiba-PR, com a Embrapa Floresta, com sede em Colombo-PR.

Com as instituições de ensino superior (IES) a relação de parceria em NT com o LCNano foram estabelecidas no âmbito do estado do Paraná com laboratórios da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), com sede em Curitiba-PR, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com sede em Curitiba-PR, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), com sede em Ponta Grossa-PR, da Universidade Estadual de Londrina (UEL), com sede em Londrina-PR, da Universidade Estadual de Maringá (UEM), com sede em Maringá-PR, da Universidade do Centro-

Oeste (UNICENTRO), com sede em Cascavel-PR, e da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), com sede em Paranavaí-PR.

No âmbito nacional o LCNano estabeleceu cooperação técnico-científica em NT com laboratórios da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG; da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG; da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG; da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP; do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP; da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo-SP; da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro-RJ; da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC, e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre-RS.

O Quadro 6 relaciona as 29 empresas que estabeleceram relação científica com o LCNano, identificando a NT envolvida e a área de atuação da empresa. Estas atividades estão relacionadas a projetos de pesquisa contratados pelas empresas que resultaram, em alguns casos, na produção ou obtenção de nanopartículas, materiais nanoestruturados e processos nanotecnológicos, com a respectiva transferência de tecnologia. Pelos setores produtivos envolvidos com essas empresas, a NT desenvolvida pelo LCNano está aplicada no atendimento de questões sociais como saúde e alimentos e na área de meio ambiente.

Quadro 6: Empresas que estabeleceram relação científica com o LCNano

Empresa / Cidade	Nanotecnologia envolvida	Área de atuação
Pratti-Donaduzzi / Toledo-PR	nanofármacos, nanocarreadores	Medicamentos genéricos
Bayer / São Paulo-SP	nanoestruturas magnéticas	Farmacêutica
Klabin - Biorrefinaria do Eucalipto e da Cana-de-Açúcar / Telêmaco Borba-PR	nanocelulose, nanolignina; nanowhiskers nanomateriais de carbono	Sucroalcooleiro e sucroenergético, celulose e papel
Iguaçu Celulose / São José dos Pinhais-PR	nanocelulose e nanowhiskers	Celulose e papel
MWV Rigesa / Três Barras-SC	nanocelulose e nanolignina	Papel e embalagens
Ibema / Curitiba-PR	nanocelulose e nanocristais	Embalagens biodegradáveis
Syngenta Brasil / Cascavel-PR	nanopartículas e nanomateriais de carbono	Agronegócio

Novozymes Brasil / Araucária-PR	nanoencapsulamento	Biologia, enzimas e microrganismos
Imunova Análises Biológicas / Curitiba-PR	nanocompósitos baseados em nanopartículas de ouro e enzimas; nanosensores eletroquímicos	Rastreabilidade da utilização de agrotóxicos em toda a cadeia produtiva
Caltec Química Industrial / Itaperuçu-PR	nanopartículas de sílica	Química Industrial
Platit / São José dos Pinhais-PR	nanocompósitos de carbono e sílica	Revestimentos para tratamento de superfícies
Fecial Indústria e Comércio / Curitiba-PR	nanomateriais de carbono	Tecnologia e ferramentas para usinagem
O Boticário / São José dos Pinhais-PR	nanopartículas de prata e outro	Cosméticos
Nanovetores Tecnologia / Florianópolis-SC	nanoencapsulamento e nanopartículas	Cosméticos
Vis Naturalis / Curitiba-PR	nanoencapsulamento	Cosméticos
Embrapa Floresta / Telêmaco Borba-PR	nanocelulose e nanolignina	Recursos Florestais e Madeira
Vuelo Pharma (Membracel) / Curitiba-PR	nanopartículas de prata	Biotecnologia e cuidados da saúde
MBM Brasil / Curitiba-PR	nanopartículas	Protetor contra radiação ultravioleta (UV)
Venair / Barcelona-Espanha	materiais nanoestruturados	Mangueiras, partes e peças em silicone
FlexSolar / Joinville-SC	materiais nanoestruturados	Células Solares Orgânicas
Ioto International / Campo Magro-PR	nanoencapsulamento de aromas	Aromas industriais
Funcional Mikron / Valinhos-SP	nanoquitossana	Alimentos e bebidas
Brasil H2 / Curitiba-PR	nanocatalisadores	Energias renováveis
Crystal Cor / Curitiba-PR	nanopolímeros	Tintas hidrofóbicas
Seta S.A. / Estância Velha-RS	nanopolímeros e materiais nanoestruturados	Tratamento de águas e efluentes
Embalaplas / Curitiba-PR	nanopolímeros	Embalagens plásticas
Poliplast / Curitiba-PR	nanopolímeros	Embalagens plásticas
Renault-Nissan / São José dos Pinhais-PR	Nanoencapsulamento e materiais nanoestruturados	Impermeabilizantes contra radiação UV
CSEM Brasil / Belo Horizonte-MG	materiais nanoestruturados	Células Solares Orgânicas

Fonte: Relatório técnico LCNano, 2018

Além desses projetos em parceria com as empresas, o LCNANO faz parte da rede nacional SIBRATEC desde 2014, através da participação nas redes de Nanodispositivos e Nanosensores, e de Nanomateriais e Nanocompósitos, com dois projetos em andamento, em 2019, para a produção de nanocompósitos e nanosensores. O objetivo dessas redes é promover projetos executados por empresas em parceria com instituições científicas e tecnológicas pertencentes ao SisNANO, direcionados ao desenvolvimento de produtos e processos nanotecnológicos inovadores, com foco no mercado e agregação de valor à empresa, seus produtos e negócios. Na formação de recursos humanos parte dos trabalhos de pesquisa de dissertações e teses de alunos orientados por pesquisadores do LCNano, em diversas áreas de formação, são também desenvolvidos em parcerias com empresas.

Com relação aos projetos em redes de cooperação internacional, foram estabelecidas parcerias com países latino-americanos integrantes da Rede de Cooperação Internacional em Nanocelulose do Programa Ibero-americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED)⁶, com o Canadá, Finlândia, Espanha, Portugal, França, China, Índia, Suécia e o México com a Rede Internacional de Nanocompósitos-Guadalajara. Destas parcerias somente uma foi com empresa, a Venair-Espanha, e as demais foram com universidades e instituições de pesquisa. Neste contexto emergiram novas áreas de NT para o LCNano como o desenvolvimento de módulos de memória para dispositivos eletrônicos baseados em nanotubos de carbono que foram sintetizados na UFPR.

O Quadro7 mostra as redes de cooperação internacional estabelecidas pelo LCNano com instituições de outros países e a respectiva instituição envolvida. Apesar de ainda não haver processos de transferência tecnológica ou patentes registradas, o que pode estar relacionado ao curto período de tempo observado, a rede internacional do LCNano teve significativa ampliação sob a influência da política do SisNANO. Entretanto esta rede ainda não apresenta características de uma universidade empreendedora como descrito por Matias-Pereira e Kruglianskas (2005) e Zhou (2017), mas está de acordo com o proposto por Motoyama et al (2014), na medida em que observamos um forte engajamento em P&D, capitaneado pelo laboratório na universidade, na direção do aprender pela pesquisa e aprender pela interação.

⁶ CYTED é um programa criado pelos governos dos países iberoamericanos para promover a cooperação em temas de ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento harmónico da Ibero América - www.cyt.org.

Quadro 7: Redes de cooperação internacional com o LCNano

País	Instituição envolvida	Rede de pesquisa
Dinamarca	Universidade das Ilhas Faroe; empresa pesqueira Hydden Fjord	Desenvolvimento de filtros de espuma de quitosana / nanoquitosana na aquicultura das Ilhas Faroe
Índia	Instituto Indiano de Tecnologia	Melhoria do desempenho de dispositivos eletrônicos orgânicos; desenvolvimento de transistores orgânicos de efeito de campo
Países Iberoamericanos	Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED); Laboratório Nacional de Nanotecnologia -Costa Rica; Universidade Nacional do Litoral e Universidade Nacional de Misiones–Argentina; Universidade de Guadalajara-México	Obtenção de nanocelulose e nanolignina para aplicações nas indústrias de papel, embalagens e alimentos
Alemanha	Universidade de Tecnologia de Chemnitz	Desenvolvimento de arquiteturas tridimensionais de memória de forma magnética por tubos de nanomembranas de Ni-Ga-Mn
França	Universidade de Bordeaux	Desenvolvimento de materiais compósitos baseados em soluções de nanotubos de carbono e grafeno, e síntese de nanopartículas aplicadas a área de saúde para o desenvolvimento de membranas biocurativas
China	Universidade de Guangzhou e Universidade de Pequim	Desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos orgânicos e nanotubos de carbono aplicados principalmente na cadeia do agronegócio; desenvolvimento de novas rotas de tratamento com fármacos nanoestruturados e nanoencapsulados para combate a enfermidades causadas por fungos filamentosos e leveduriformes; desenvolvimento de transistores orgânicos em arquitetura vertical
Canadá	Universidade de Waterloo	Desenvolvimento de novos produtos com materiais nanoestruturados aplicados na agroindústria

Estados Unidos da América	Universidades de Berkeley, Tennessee, Washington e Penn State	Desenvolvimento de materiais baseados em nanoestruturas de carbono, síntese de nanopartículas de polímeros e fulerenos para aplicação em dispositivos fotovoltaicos, e semicondutores orgânicos poliméricos
Suécia	Universidade Lund	Desenvolvimento de células solares orgânicas
México	Universidade de Guadalajara	Desenvolvimento de memórias orgânicas e transistores orgânicos
África do Sul	Universidades de Witwatersrand, e Johannesburg	Desenvolvimento de nanosensores químicos para agricultura de precisão, sensores de umidades e de pressão baseados em nanoestruturas de carbono

Fonte: Relatório técnico LCNano, 2018

4.5 Descrição da infraestrutura dos laboratórios

Devido a sua interdisciplinaridade e ao seu caráter multiusuário, os laboratórios integrantes do LCNano estão organizados tanto em unidades individuais de pesquisa como em centros de pesquisa, que atuam em conformidade com os eixos fundamentais nas etapas de produção e desenvolvimento de nanomateriais e nanoestruturas para futuras aplicações. Está composto de três unidades centrais, o Centro de microscopia eletrônica (CME), o Centro de pesquisa e processamento de alimentos (CEPPA) e o Centro de Desenvolvimento e inovação de materiais e biomateriais (CDIM), que atuam em conjunto com os demais laboratórios integrantes (LCNano, 2012). A seguir descreve-se cada centro e laboratório integrante:

(1) Centro de Microscopia Eletrônica (CME).

O Centro de Microscopia Eletrônica (CME) é o mais abrangente Laboratório de apoio à pesquisa científica em regime de funcionamento multiusuário na UFPR, desde 1968. Atualmente, o CME disponibiliza aos usuários equipamentos em microscopia eletrônica para a caracterização morfológica que possuem resoluções de 0,3 a 3nm. Permite análise de emissão luminescente por Catodo Luminescência (CL) com imagens pancromáticas, monocromáticas e espectros entre 165 e 930nm com resolução 1nm. No campo das microscopias ópticas há um equipamento com resolução de 200nm. Outras

técnicas acessórias a estes equipamentos se destacam ampliando a capacidade analítica, tais como: a difração de elétrons, análise química de raios-X, a espectroscopia de emissão por catodo luminescência e a espectroscopia Raman confocal com recursos de imageamento químico. Além das capacidades de visualização, espectroscópicas e microestruturais, os microscópios eletrônicos contam com estágios e porta amostras com controle de temperatura na faixa de -180 a 110 °C, o que permite o acesso a observação e registro de alguns fenômenos durante as análises.

- (2) Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA).

Realiza ensaios em amostras de águas e efluentes, alimentos e agrotóxicos e também presta apoio técnico e científico na produção de nanopartículas pelas técnicas de secagem por nebulização, coacervação e co-cristalização na área de alimentos e ingredientes para alimentos e bebidas. Conta com cinco laboratórios sendo estes: Microbiologia de Aguas e Efluentes. Físico-química de Aguas e Efluentes, Espectrometria, Teor de Agrotóxicos, Físico-química de Alimentos além do apoio do Laboratório de Tecnologia de Alimentos. Desenvolve pesquisas com apoio da UFPR, CAPES e CNPq, incluindo dissertações e teses (co-cristalização de extrato de amora preta em sacarose, encapsulamento de nisina para liberação controlada – em desenvolvimento, encapsulamento de *Lactobacillus sp.* em material prebiótico – em desenvolvimento), além de trabalhos em conjunto com indústrias (encapsulamento de enzimas e de microrganismos). Os laboratórios apresentam credenciamento no INMETRO, e no trabalho com empresas, termos de confidencialidade, que são importantes nos trabalhos em conjunto com indústrias e empresas. Os objetivos do CEPPA estão direcionados ao desenvolvimento da pesquisa científica e aplicada no campo da tecnologia alimentar, direcionando suas atividades para novas áreas, que incluem a produção e utilização de nanopartículas e materiais nanoestruturados.

- (3) Centro de Desenvolvimento e Inovação de Materiais e Biomateriais (CDIM).

O CDIM é um edifício de quatro andares com área total de 4120 m², formado por um complexo de laboratórios com foco na pesquisa, no desenvolvimento e na inovação de materiais, incluindo os de escala nano. Fazem partes do complexo as unidades de Raio-X, de Espectroscopia de Massa e Ressonância Magnética e a unidade de Espectroscopia de infravermelho.

Estas unidades dentro do CDIM são organizadas por divisões agrupando os laboratórios que desenvolvem suas atividades afins. São elas: (i) Divisão de Propriedades Termomecânicas - dedicada ao levantamento de propriedades térmicas e termomecânicas

de amplo espectro de materiais para uso em engenharias. Integram a unidade os laboratórios de Metalurgia e Análise de Falhas; laboratório de Processamento Termomecânico de Materiais; laboratório de Propriedades Termomecânicas de Materiais Viscoelásticos; laboratório de Termodinâmica e Termofísica; laboratório de Síntese e Caracterização de Ligas Nanoestruturadas e laboratório de Propriedades Térmicas de Materiais Nanoestruturados; (ii) Divisão de Biomateriais e Bioprodutos – atua no desenvolvimento de novos materiais, incluindo os originados pela aplicação de recursos da nanotecnologia. Salienta-se, especialmente, a utilização de produtos naturais nacionais, conferindo-lhes valor agregado, de preservação, de sustentabilidade e de inovação. Integram a unidade os laboratórios de Biomateriais e Materiais Biocompatíveis e o laboratório de Biotecnologia e Materiais Baseados em Polissacarídeos; (iii) Divisão de Dispositivos e Sensores – atua no desenvolvimento de materiais nanoestruturados metálicos, semicondutores, isolantes, orgânicos e hídricos para uso em dispositivos e sensores diversos. Integram a unidade os laboratórios de Dispositivos Nanoestruturados; laboratório de Dispositivos Optoeletrônicos Orgânicos; laboratório de Sensores Eletroquímicos; laboratório de Inovação e Tecnologia para Sensores e laboratório de Nanoestruturas para Sensores; (iv) Divisão de Propriedades Estruturais, Eletrônicas e Magnéticas – atua na realização de diversas análises estruturais, eletrônicas e magnéticas de materiais nanoestruturados artificialmente, incluindo simulação computacional, para uso voltado a sensores e dispositivos. Integram a unidade os laboratórios de Estrutura Eletrônica de Materiais Fortemente Correlacionados; laboratório de Propriedades Ópticas, Eletrônicas e Fotônicas; laboratório de Caracterização Magnética de Materiais; laboratório de Óptica de Raios x e Instrumentação e laboratório de Superfícies e Interfaces; (v) Divisão de Caracterização e Aplicações Químicas – atua na análise química, físico-química e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis com materiais nanoestruturados. Integram a unidade os laboratórios de Eletroquímica e Interfaces e Laboratório de Tecnologia Ambiental.

- (4) Laboratório de Química de Materiais Avançados (LAQMA).

Fundado em 1993 já formou 52 alunos de mestrado e doutorado, possui 160 artigos publicados, 34 patentes e mais de 3500 citações internacionais (LATTES, 2019). Chegou em 2009 a ter 25% de todas as patentes da UFPR e atualmente é reconhecido como um laboratório de ponta na área de nanomateriais, com toda a infraestrutura básica para a síntese e caracterização dessa classe de materiais. O Laboratório trabalha

exclusivamente com nanomateriais lamelares e fibrosos, para aplicações variadas na área de catálise e especialmente como materiais funcionais para nano compósitos poliméricos.

- (5) Laboratório de Celulose e Papel e de Anatomia e Qualidade da Madeira (LANAQM).

O “Grupo de Desenvolvimento de Novos Produtos e Matérias Primas Renováveis” em parceria com Embrapa Florestas, ISI-SENAI e empresas do setor florestal, desenvolve nanocelulose por desfibrilação mecânica, onde geram uma desintegração da parede celular, e desenvolve nanocompósitos a partir de resíduos agrofloretais, como a produção de embalagem comestível de frutas e legumes através de filmes celulósicos nanoestruturados obtidos a partir de espécies brasileiras. Obtenção de nova linha de espessantes celulósicos nanoestruturados para aplicação em polpas de frutas e legumes. Estudo para novas aplicações para lignina e suas nanoestruturas, bem como obtenção de produtos de alto valor agregado a partir de plantas. Além disso, engloba estudos de modificação de superfícies por plasma a frio. Todas estas vertentes são realizadas em conjunto com diversos laboratórios parceiros da UFPR e de outros centros de pesquisa.

- (6) Laboratório de Biotecnologia em Polissacarídeos (BioPol), e (7) Laboratório de Química de Carboidratos Vegetais (LQCV).

Ambos são participantes da Rede Nanoglicobiotec/CNPq e Nanobiotec/CAPES, atuando na determinação físico química das características nano de polímeros hidrossolúveis a partir de técnica de GPC acoplada a mutidetectors: IR, viscosidade e espalhamento de luz (LALS e RALS). Desenvolvem pesquisas e inovação a partir da caracterização de polissacarídeos e seus derivados em diferentes aplicações especialmente como filmes, membranas, géis e nanopartículas, orientadas para o encapsulamento de fármacos/especialidades químicas, suportes para cultivos de células, kit diagnóstico, microvesículas ultrassônicas, agentes de reforços e estabilizantes. Desenvolvem técnicas de identificação de sistemas nanoestruturados, na determinação da massa molecular, polidispersão, viscosidade intrínseca e forma da molécula. Nesse perfil, nos últimos dois anos, quatro pedidos de patentes foram depositados.

- (8) Laboratório de Nanoestruturas para Sensores (LANSEN).

O Laboratório de Nanoestruturas para Sensores da Universidade Federal do Paraná, LANSSEN, atua na concepção, fabricação e caracterização de filmes e nanoestruturas para a investigação de fundamentos de física da matéria condensada e aplicações nanotecnológicas. O LANSSEN é um dos laboratórios do grupo de Filmes e

Nanoestruturas Magnéticas criado em 1992, encontrando-se localizado no Campus Centro Politécnico da UFPR. O LANSEN mantém parcerias com diversas instituições nacionais e internacionais, além de possibilitar diversos trabalhos de pesquisa de alunos de graduação e pós-graduação vinculados aos Programas de Pós-Graduação em Física e Engenharia e Ciência dos Materiais.

O LANSEN tem por missão o desenvolvimento de CT&I com ênfase na formação de recursos humanos de excelência na área da nanotecnologia voltada ao nanomagnetismo, onde o Brasil possui uma enorme dependência do mercado internacional. O LANSEN além de integrar ações do SisNANO e LCNano, está presente na proposta de criação de um INCT de Nanomagnetismo e Spintrônica, aprovado na chamada INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014.

Atualmente, no LANSEN, se desenvolvem projetos de pesquisa de dispositivos nanoestruturados magnéticos baseados em: 1) nanomagnetos voltados ao sensoriamento de campo magnético ou polarização magnética (*magnetic bias*) em sensores spintrônicos, magnetoresistivos e magnetostrictivos; 2) nanomembranas com geometria de rolos para uso em transdutores magneto-mecânicos e 3) nanopartículas magnéticas para uso ferrofluidos. Os processos de microfabricação necessários para a fabricação de protótipos e dispositivos demonstradores de conceito sustentam-se em colaborações internacionais com duas plataformas tecnológicas europeias vinculadas a centros universitários de pesquisa: Unité Mixte de Physique (UMR137) em Palaiseau na França e Micro and Nanosensors Group na Technische Universität Dresden (TUD), em Dresden, Alemanha.

- (9) Laboratório do Grupo de Pesquisa em Macromoléculas e Interfaces (GPMI).

O Grupo de Pesquisa em Macromoléculas e Interfaces da UFPR foi criado em meados de 2012. Atua em projetos de pesquisa que englobam a síntese e caracterização de nanomateriais em diferentes formas, tamanhos e composição, todos eles com estreita ligação com a área de sensores e biosensores, servindo de materiais base para reações eletrocatalíticas na construção de eletrodos modificados para fins analíticos. Prioriza a formação de recursos humanos com diversos projetos de pesquisa com alunos de pós-graduação e graduação.

- (10) Laboratório de Dispositivos Nanoestruturados (LDNANO).

O grupo de Dispositivos Nanoestruturados faz parte do Departamento de Física da UFPR. O trabalho desenvolvido inclui a caracterização de nanomateriais, fabricação dos dispositivos e modelagem da resposta elétrica e opto-elétrica. O conjunto de materiais investigados no grupo inclui polímeros condutores e semicondutores, fulerenos,

nanotubos de carbono, grafenos, nanopartículas (metal e óxidos), entre outros. Suas pesquisas estão direcionadas a desenvolver e caracterizar novos materiais para eletrônica flexível.

- (11) Laboratório Grupo de Química de Materiais (LGQM).

O Grupo de Química de Materiais (GQM) do Departamento de Química da UFPR tem como principal interesse científico a síntese, caracterização, estudos de propriedades e aplicações de nanomateriais, visando propriedades melhores e novos materiais multifuncionais. As três áreas de foco principal são as seguintes: (i) desenvolvimento de novas rotas de síntese de nanotubos de carbono, baseados em novos precursores (compostos organometálicos) e novos catalisadores, bem como os estudos de aplicações desses nanotubos em sensores, materiais compósitos, eletrodos, dispositivos eletroquímicos (supercapacitores) e dispositivos fotovoltaicos ; (ii) novas rotas de síntese de nanopartículas metálicas, principalmente *Au*, *Ag*, *Ni* e *Pt*, e o estudo dessas nanopartículas como catalisadores em sensores, compósitos e dispositivos fotovoltaicos; (iii) novas rotas para a preparação de polímeros condutores baseados em nanocompósitos (ambos com nanotubos de carbono e nanopartículas metálicas), visando materiais com alta capacidade de processamento e potencial de aplicação em diferentes domínios como sensores, dispositivos eletroquímicos e, principalmente, dispositivos fotovoltaicos orgânicos.

Em conjunto com o LDNANO, esses 2 laboratórios têm reportado altas eficiências em células solares flexíveis, e desenvolvido dispositivos de memória e sensores. A mais recente patente concedida a UFPR, nesta área, saiu desta parceria com um dispositivo inovador de memória baseados em nanotubos de carbono sintetizados na UFPR (AGITEC, 2017).

- (12) Laboratório Núcleo de Design & Sustentabilidade (LNDS).

O Núcleo de Design & Sustentabilidade é um grupo de pesquisa vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Design, fundado em 2003 com recursos do Fundo Verde-Amarelo (FINEP). Este grupo de pesquisa vem desenvolvendo pesquisas com foco no desenvolvimento de produtos, serviços e sistemas sustentáveis. Sua infraestrutura inclui equipamentos para prototipagem rápida (scanner 3D, impressora 3D, CNC), instalações de informática dedicadas à atividade de Design, além de amplo acesso aos laboratórios do Departamento de Design (ex.: Laboratório de Fotografia, Laboratório de Cerâmicas, dentre outros). A competência relevante deste grupo de pesquisa ao presente projeto está

na conversão da pesquisa básica de N&N em produtos de NT passíveis de inserção no mercado.

No momento da integração ao LCNano, em 2012, todos esses laboratórios descritos acima já estavam consolidados, de forma isolada, em suas áreas de atuação e com uma infraestrutura de equipamentos e serviços em operação. A relação destes equipamentos multiusuários com aplicações em escala nano para a produção e caracterização de nano materiais e nanocompósitos, e disponíveis nas unidades integrantes do LCNano está descrita no Quadro 8 a seguir:

Quadro 8: Equipamentos multiusuários do LCNano

Equipamento	Descrição
Microscópio Eletrônico de Transmissão	Modelo JEOL JEM 1200EX-II, com resolução de 0,5nm permite magnificações de até 600kX. Análises com temperatura controlada de -180 a +110°C. Análises cristalográficas por Difração de Elétrons em Área Seleccionada (SAED). Aplicada na caracterização de nanomateriais permitindo visualizar morfologia, estrutura cristalina, relações de orientação entre fases e identificar defeitos. Pode ser acoplado com as técnicas espectroscópicas de dispersão de energia característica de raios -X (EDS) e de perda de energia de elétrons (EELS), permitindo análise química, qualitativa e quantitativa, com alta resolução espacial.
Microscópio Eletrônico de Varredura	Modelo JEOL JSM 6360-LV, com resolução de 3nm permite magnificações de até 300kX. Análises químicas elementares por EDS com resolução de 134eV e detector Pioneer Si (Li). Análises com temperatura controlada de -180 a +110°C. Imagens com pressão controlada entre 1 a 270Pa. Análise de emissão luminescente por Catodo Luminescência (CL) com imagens pancromáticas, monocromáticas e espectros entre 165 e 930nm com resolução 1nm identifica as posições reais de colunas atômicas, e determina as reais posições dos átomos dentro do material através de individualização dos elementos pelo seu número atômico. Aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas.
Microscópio Eletrônico de Varredura	Modelo TESCAN VEGA3 LMU, com resolução de 3nm permite magnificações de até 300kX. Imagens com pressão controlada entre 3 a 500 Pa. Análise aspectos tridimensionais por estereoscopia de elétrons secundários processadas pelo programa MeX 3D da Alicona Imaging GmbH. Aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas.

Microscópio Eletrônico de Varredura	Modelo FEI Quanta 450 FEG, com resolução de 1nm permite ampliações de até 2 MX. Análises químicas elementares por EDS com resolução de 131eV e detector Apollo X SDD. Análises com temperatura controlada de ambiente a +1.000 °C. Imagens com pressão controlada entre 10 a 4000Pa (modo ambiental). Análise cristalográfica por Difração de Elétrons Retroespalhados (EBSD) EDAX com a Câmera DigiView IV. Análises morfológicas, internas tridimensionais por micro Tomografia Computadorizada (μ -CT) da Bruker Corporation, com resolução de 400nm. Aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas.
Microscópio Eletrônico de Bancada Phenom	Com resolução de 30nm permite ampliações de até 24kX. As amostras podem ter suas estruturas fisicamente examinadas e composição elementar determinadas durante as mesmas medidas. Permite visualização tridimensional de estruturas auxiliando a caracterização de amostras. Aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas.
Microscópio de Força Atômica	Modelo Shimadzu SPM 9500, com resolução de 0,3nm é possível obter imagens nos modos, contato, não contato e oscilante. Possui célula para análise em meio líquido e a realização de análises em ensaios eletroquímicos. Podem ser acopladas pontas magnéticas para imagens de Microscopia de Força Magnética. Aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas.
Microscópio Óptico Confocal	Modelo Witec alpha 300R, com resolução lateral de 200nm, resolução vertical de 500nm. Permite análises químicas por espectroscopia Raman com três lasers 532nm, 634nm e 754nm, e dois espectrômetros com resolução de 0,02cm ⁻¹ . Capacidade de realizar seccionamento óptico, com a obtenção de imagens bidimensionais obtendo secções virtuais de toda a espessura do tecido criando imagens tridimensionais. Aplicado na obtenção de imagens de amostras vivas e de informação computadorizada tridimensional na pesquisa biológica, na análise química e de materiais em áreas de nanobiotecnologia e nanofármacos.
PPMS Evercool II (<i>Physical Property Measurement System</i>)	Modelo Quantum Design, oferece sistema combinado de fotônica, eletrônica quântica, óptica com eletro-transporte e medições de caracterização de materiais magneto-ópticos em temperaturas criogênicas e em campos magnéticos de ± 16 T, como calor específico, susceptibilidade magnética AC e DC e propriedades de transporte elétrico e térmico. Aplicado na síntese de materiais

	nanoestruturados para nanosensores e células fotovoltaicas.
Sistema de Produção de Nanopartículas	Modelo YAG Quantronix 117, aplicado na produção de nanopartículas de nanoprata e nanocobre por ablação laser em líquidos utilizando laser Nd, com capacidade de otimizar seus efeitos antimicrobianos destinado a identificar novos nanofármacos antimicrobianos, no uso de nanopartículas metálicas como revestimentos para dispositivos médicos, curativos para feridas e embalagens de consumo.
Espectrômetro de Elétrons	Modelo VG Microtech ESCA 300, com técnicas de XPS, UPS, AES. Medidas de concentração e composição química de camadas de 1nm de espessura podem ser realizadas com uma resolução de 0,8eV. Permite a identificação de elementos e compostos mediante os espectros obtidos. Aplicado na síntese e caracterização de nanomateriais.
Sistema de Deposição por Epitaxia por Feixe Molecular (BEM)	Epitaxia por feixe molecular com 4 células de efusão, e sistema RHEED (<i>Reflection high-energy electron diffraction</i>). Caracterização de nanoestruturas cristalinas por difração de elétrons (XPS-UPS). Aplicado na síntese de materiais nanoestruturados voltados para nanosensores e semicondutores.
Câmara de Deposição por Ablação de Laser Pulsado (PLD)	Deposição por ablação por laser pulsado com 4 alvos. Aplicado na síntese de nanopartículas e nanofilmes multicamadas, em produção de semicondutores e supercondutores, nanosensores.
Microscópio de Força Atômica	Modelo Agilent 5500, aplicado na determinação de topografia, dimensões, contraste de fase de sistemas depositados em superfícies sólidas e rugosidade de sistemas particulados e filmes finos nanoestruturados.
Difratômetro de Raios X	Com acessório para filme fino é utilizado para aplicação pós ensaios de microscopia de força atômica, determinando a estrutura atômica e molecular de nanocristais.
Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (CLAE)	Aplicado para o desenvolvimento de novos fármacos nanoestruturados. Capacidade de detectar componentes complexos com método de separação de compostos químicos em solução identificando e quantificando cada componente em uma mistura.
Espectrômetro de Ressonância Magnética Nuclear (RMN)	Com sonda para sólidos 400 MHz Bruker, utiliza o fenômeno de ressonância magnética nuclear, para a determinação de uma estrutura de compostos orgânicos através das propriedades magnéticas de certos núcleos atômicos para determinar propriedades físicas ou químicas de átomos ou moléculas nos quais eles estão contidos, com informações detalhadas sobre a estrutura, dinâmica,

	estado de reação e ambiente química em escala nano, desde compostos analisados com próton ou carbono unidimensional a proteínas ou ácidos nucleicos usando técnicas de análise em 3 ou 4 dimensões.
Espectrômetro de RMN de alto campo	Modelo de 400 e 700 MHz e capacidade de campo magnético de 9,4 Tesla, com técnica de HR-MAS (<i>High Resolution – Magic Angle Spinning</i>) para a realização de amostras semissólidas.
Espectrômetro EPR (<i>Electron Paramagnetic Resonance</i>)	Modelo Bruker, utiliza técnica analítica não destrutiva que pode detectar elétrons desemparelhados em sólidos, líquidos, gases, suspensões celulares e in vivo, qualificando e quantificando a presença de espécies paramagnéticas (radicais livres, íons de metais de transição, defeitos). Aplicado em pesquisa molecular, de materiais, biologia estrutural e física quântica em escala nano.
Espectrofotômetros FTIR (<i>Fourier Transform InfraRed</i>)	Fabricados pela Bruker, Bomen e Perkin-Elmer, com o monitoramento de reações químicas rápidas, é possível a análise de traços, como por exemplo, na investigação de contaminantes ou de aditivos em nanopolímeros. Podendo ser utilizados em análises estruturais ou em análises não destrutivas como em semicondutores, também é aplicado no desenvolvimento de nanofármacos.
Espectrofotômetro Raman	Modelo Renishaw com resolução espacial e duas linhas de excitação em 514,5 e 632,8nm, aplica técnica fotônica de alta resolução que pode proporcionar informação química e estrutural de quase qualquer material, composto orgânico ou inorgânico, incluindo a escala nano.
Equipamento TGA/DSC	Modelo TA Instruments, aplicado nos estudo de propriedades termogravimétricas e termomecânicas de amostras para caracterização de nanomateriais.
Equipamento de Espalhamento de luz laser dinâmico Nanotracs	Modelo Nanotracs Wave, com espalhamento dinâmico de luz que mede o tamanho, o potencial zeta e o peso molecular de partículas suspensas em solução. Coleta luz na configuração de retroespalhamento. Aplicado no desenvolvimento de nanofármacos e nanopolímeros.
Sistema de GPC	Modelo Viscotek Malvern, aplicado a cromatografia e caracterização (tamanho e forma) por espalhamento de luz estático e dinâmico em nanopolímeros hidrossolúveis.
Espalhamento Dinâmico de Luz laser Multiângulos (DLS)	Modelo BrookHaven Instruments, determina a dimensão de nanopartículas em suspensão pela flutuação na intensidade de luz espalhada. Aplicado na caracterização de nanopartículas e nanoestruturas.
Tensiômetro	Modelo Dataphysic Oca 15, aplicado no desenvolvimento de material em nano escala como

	nanotubos de carbono e outros fulerenos, juntamente com outras nano partículas e nanorods. Possibilita a determinação automatizada da homogeneidade/molhabilidade de nano superfícies sólidas e a energia livre de superfície (em componentes polares / dispersão) dos sólidos.
Unidade de Pulverização Catódica <i>Sputtering</i>	Aplicada na deposição de filmes finos metálicos (FMs), vítreos e nanocristalinos, com espessura micro ou nanométrica em materiais nanoestruturados e na obtenção de filmes nanoestruturados de metais multicomponentes
Perfilômetro – rugosímetro	Modelo Dektak XT Bruker, aplicado no estudo de superfícies de materiais nanoestruturados e usinagem de precisão.
Espectrômetro de massa	Modelo MicroQTOFII quadrupolo acoplado com um HPLC e a um sistema Nano-LC multidimensional, utiliza nanofluxo na caracterização molecular de compostos oligoméricos tais como peptídeos e oligossacarídeos, diferenciação entre composto nominalmente isobáricos e diferenciação de formas isoméricas.
Spray-dryer em escala piloto	Modelo Buchi Mini Spray Dryer B, com bico aspersor a dois fluidos, aplicado na secagem por atomização e encapsulação em produtos químicos/materiais nanoestruturados.
Texturômetro	Modelo Brookfield CT3, aplicado para estudos reométricos de produtos obtidos por nanotecnologia, medidores de atividade de água – estabilidade das partículas desenvolvidas.
Sistema de medidas PPMS Evercool II	Modelo da Quantum Design, opera em temperaturas entre 1,8 K e 400 K sob campos magnéticos de até 9T. Este equipamento permite análises de magnetometria e susceptometria magnéticas, bem como, análises de magneto transporte (resistividade elétrica, efeito Hall e magneto resistência) em nanoescala.
Sistema de crescimento de heteroestruturas por epitaxia de feixe molecular	Modelo RIBER MBE, possui sistema multicâmaras interconectadas em ambiente de ultra alto vácuo (pressão de base $< 10^{-10}$ mbar) dispõe de três células de efusão (Mn, Ni, Ga) que permitem crescimentos de camadas de ligas metálicas ferromagnéticas como MnGa, Mn ₃ Ga, Ni ₂ MnGa, Mn ₂ NiGa, dentre outras.
Sistema de análise in situ RHEED (Reflection High Energy Electron Diffraction)	Permite análises de interfaces, estudos de reatividade interfacial, o sistema dispõe ainda das facilidades de análises in situ de Ultraviolet Photoemission Spectroscopy (UPS) e X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS).
Sistema de Sputtering DC/RF e laser Nd-YAG	Oferece recursos de eletroquímica (EGG 270A e Ohmmetria), para ablação laser em meios líquidos. Essa infraestrutura permite a fabricação e

	caracterização eletrônica e magneto-estrutural de filmes finos e ultrafinos, bem como, nanopartículas para uso em nanodispositivos e nanosensores diversos. Sistema integrado com duas estufas a vácuo, bidestilador, extrusora, injetora, reator, controlador Julabo, banho termoestabilizado, agitador mecânico, duas centrifugas e reator pressurizado.
Equipamento para cromatografia de exclusão molecular (SEC/GPC)	Modelo Agilent, acoplado a mutidetectores. UV-Vis (<i>ultra violet-visible</i>), RI (<i>refractive index detector</i>), LALLS (<i>low angle laser light scattering</i>), RALLS (<i>right angle laser light scattering</i>), detector de concentração de alta estabilidade, aplicado para cromatografia GPC / SEC para separação cromatográfica de polímeros hidrossolúveis utilizados para formação de sistemas nanoestruturados, determinação da massa molecular, polidispersão e viscosidade intrínseca.
Viscosimétrico	Modelo Viscotek Malvern Instruments, acoplado ao equipamento SEC/GPC, aplicado na separação cromatográfica de nanopolímeros hidrossolúveis, e também para a identificação de sistemas nanoestruturados, na determinação da massa molecular, polidispersão, viscosidade intrínseca e forma da molécula.
Goniômetro	Modelo Brookhaven, modelo BI-200SM utilizado para análise de espalhamento de luz estático e dinâmico em multi ângulos (15° a 150°). Através dessa técnica é possível determinar a massa molar, o raio de giro, o segundo coeficiente virial que serve para a determinação da interação polímero-solvente, e raio hidrodinâmico.
Máquina universal de ensaios	Modelo Instron 5567, com diferentes células de carga, oferece ensaios de tração, compressão, flexão/dobramento, adesão, cisalhamento e outros testes mecânicos, em materiais nanoestruturados aplicados a microeletrônica, biomateriais e filmes finos nas indústrias biomédicas, eletrônicas e de alimentos.
Extrusora Thermo Scientific	Modelo MINILAB II HAAKE, com rosca dupla, aplicada no desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados, fornece especificações de extrusão e medições de reologia on-line para projetos piloto e de expansão em uma variedade de materiais compostos.
Microinjetora Thermo Scientific	Modelo MINIJET II HAAKE, aplicada no desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados em conjunto com a extrusora.
Reatores variados	Para síntese e caracterização de nanocatalisadores.
Moinho Marca Masuko	Para produção de nanocelulose e nanocristais.

Espectrômetro de Massa-MALDI-TOF/TOF	Modelo Shimadzu com sistema de MALDI-TOF/MS-Imaging (Imageamento por MALDI-TOF/MS), aplicado na síntese e caracterização de nanoestruturas e nanomateriais.
Nano LC-Multidimensional	Analizador de interação molecular por Microtermoforese, aplicado no desenvolvimento, síntese e caracterização de nanofármacos.
Espectrofotômetro Raman	Modelo Renishaw, com resolução espacial de 1 μ m, dois lasers de excitação, para estudo vibracional de amostras nanométricas, incluindo nanocompósitos, e nanoestruturas de carbono.
Analizador de Partículas NanoDLS	Modelo Brookhaven, equipamento de espalhamento de luz dinâmico aplicado para a determinação de diâmetro hidrodinâmico e polidispersão em batelada ou em tempo real de sistemas poliméricos e nanoparticulados com tamanho de 0.05 a 5 μ m, e para a determinação do raio hidrodinâmico e dispersão de sistemas em escala nano.
Microbalança de cristal de quartzo	Modelo QCM200, permite medidas de massa e viscosidade em processos que ocorrem próximos a superfície, ou com filmes finos. Como um instrumento de análise gravimétrica permite a detecção de massas de microgramas a nanogramas, em uma detecção de monocamadas atômicas depositadas e, conseqüentemente, a espessura da superfície de recobrimento. Pode ser utilizado para avaliar mudanças conformacionais como transição de fase, inchamento, reticulação entre outros.

Fonte: Relatório técnico LCNano, 2018

Mais especificamente, descreve-se no Quadro 9 a relação de novos equipamentos adquiridos para o LCNano, no período de 2015 a 2018, com os recursos financeiros oriundos da política do SisNANO.

Quadro 9: Novos equipamentos multiusuários adquiridos com recursos do SisNANO

Equipamento	Descrição
Ponto Crítico da marca Leica modelo EM CPD300	Aplicado na preparação de amostras para microscópio electrónico de varredura (MEV). Estas amostras, precisam ser ressecadas para serem compatíveis com o vácuo no microscópio, são destinadas ao estudo da morfologia da superfície em aplicações biológicas que requer a preservação dos detalhes da superfície de uma amostra, pois a presença de moléculas de água irá perturbar o vácuo e, com isso, a imagem, causando também deformação massiva ou colapso das estruturas sob investigação. Dessa forma evita-se as forças tangenciais causadas pela tensão superficial que podem ter um efeito sobre as nano e microestruturas da amostra.
Sistema Ativo de Blindagem Magnética da marca TMC modelo Mag-NetX	Sistema que fornece compensação ativa de flutuações de campo magnético para microscópios eletrônicos de varredura e transmissão, sistemas de litografia por feixe de elétrons, instrumentos de feixe de íons. Combinado com sistemas de isolamento de vibração da TMC, pode-se fornecer o máximo controle de campos magnéticos e de vibração. Está combinado com sistema de isolamento de vibração da TMC, fornecendo controle de campos magnéticos e de vibração necessários ao estudo de amostras em escala nano.
Atualização de hardware e software do MEV da marca JEOL modelo JSM-6360 LV	Melhoria na resolução de imagens permitindo maior diversificação de amostras em nanoescala. Amplia o potencial de caracterização de amostras nano com maior automação e customização dos processos.
Gerador de Nitrogênio Gasoso da marca PEAK	Capacidade de fornecimento de nitrogênio ultrapuro para equipamentos de cromatografia líquida, ampliando o escopo de utilização das técnicas de caracterização de amostras em escala nano.
Filtros RGB para CL da marca SPECS	Diferentes modalidades de filtros para cromatografia líquida ampliando capacidades instaladas para a síntese e obtenção de nanopartículas, com maior precisão e confiabilidade.
Bomba mecânica seca	Modelo Edwards Vacuum, aplicada para tratamento de circuitos integrados e outras aplicações limpas como o desenvolvimento de células solares orgânicas.
Acessório PPMS Evercool II, da marca Quantum Design	Para instalação no equipamento PPMS Evercool II, para análises de magnetometria e susceptometria magnéticas.
Analizador de gases NO, NOx, NO2	

Fonte: Relatório técnico LCNano, 2018

Esta infraestrutura de equipamentos permite aplicação das mais recentes técnicas de caracterização física e química de nanopartículas, nanomoléculas e materiais nanoestruturados, oferece recursos para obtenção e síntese de nanopartículas e aplicações em nanobiotecnologia.

Todos estes equipamentos são de caráter multiusuário e sua utilização está condicionada a dois fatores principais: (1) ao tempo disponível dos técnicos alocados para suporte e operação; e (2) a disponibilidade do tempo além do previamente definido para os projetos de pesquisa aprovados no âmbito do LCNano. Sendo assim, cada equipamento tem, em média, um total de 40hs/mês (usos internos e externos), sendo reservado uma média de 8hs/mês de cada equipamento para uso externo das empresas. Caso a demanda esteja concentrada em um único equipamento ou um subconjunto, o tempo total disponível para as empresas e/ou demais instituições externas pode chegar a um total de 2 hs/dia e até 24hs/mês. Dessa forma, em média, o tempo total disponível para utilização das facilidades do LCNano está distribuído da seguinte forma: 55% para comunidade científica da UFPR, 20% para projetos do LCNANO e 20% para prestação de serviços pelo LCNANO com as empresas, e 5% para manutenção de equipamentos e capacitação técnica.

Para cada laboratório, equipamento ou serviço de caráter externo ao LCNano, as solicitações de agendamento e execução são previamente aprovadas pelo pesquisador responsável daquela unidade. Esta análise considera a adequação e conformidade com os requisitos de uso e prioridades com relação à linha de pesquisa. A partir de 2014, o Centro de Microscopia Eletrônica (CME), o Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA) e os outros laboratórios têm oferecido, anualmente, cursos de treinamento para a equipe interna e demais usuários externos desses equipamentos.

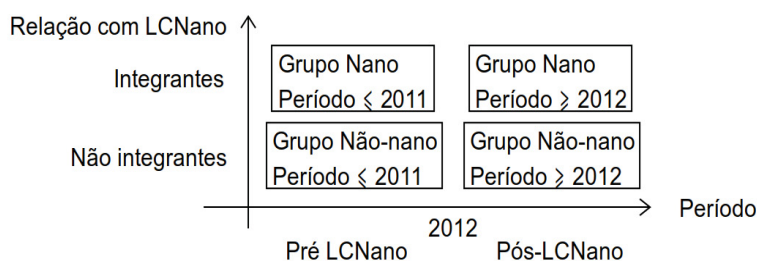
5. O LABORATÓRIO CENTRAL DE NANOTECNOLOGIA COMO *HUB* TECNOLÓGICO - RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados do LCNano quanto a produção científica do conjunto de seus pesquisadores, que foi analisada para determinar se o LCNano contribui para uma nova dinâmica de produção multidisciplinar e se este emerge com as características de um *hub* tecnológico para a UFPR. Os dados foram analisados comparando os períodos pré-LCNano, de 2004 a 2011, com o segundo período pós-LCNano de 2012 a 2018. Para os dois períodos cada análise foi comparada entre o grupo nano, formado pelos 42 pesquisadores integrantes do laboratório, com o grupo não-nano.

5.1 Metodologia

Os dados referentes às publicações e redes de colaboração foram divididos em quatro grupos de interesse, de acordo com a relação do pesquisador com LCNano (integrante ou não integrante) e o período da publicação (antes ou depois da implantação do LCNano), conforme mostra a figura 7 abaixo:

Figura 7: Grupos de interesse e períodos de publicação



Fonte: o autor.

Nesta etapa, após definir a origem e organização das informações necessárias da pesquisa, o processo foi dividido em três partes: (1) obtenção dos dados de redes de colaboração e produções científicas a partir das fontes mencionadas, (2) pré-processamento e organização dos dados e (3) análise exploratória dos dados com construção de visualizações e modelos de inferência.

5.1.1 Obtenção dos dados das redes de colaborações e produções científicas

Os dados sobre redes de colaboração e produções foram obtidos por meio de diferentes formas de acesso. Dados referentes à formação dos pesquisadores, suas publicações e coautorias foram obtidas primariamente das Plataformas Lattes-CNPq, DGP-CNPq, SIGA, Scopus e Crossref.

Por meio de consulta ao currículo dos pesquisadores no SIGA e Lattes-CNPq, obteve-se os registros de produções de artigos em periódicos, serviços técnicos, desenvolvimentos de produto, desenvolvimentos de técnica, relatórios de pesquisa, patentes e participações em congressos e eventos. Destes, foi possível extrair dados do título, coautorias e áreas da produção. Para a identificação dos grupos de pesquisa foi realizada consulta ao DGP-CNPq selecionando todos os grupos certificados da UFPR que contivessem em sua equipe pelo menos um pesquisador do grupo nano, (aqueles integrantes do LCNano) e obteve-se dados do nome do grupo, linhas de pesquisa, palavras-chave e equipe.

Para obter dados referentes aos resumos, palavras-chave e textos completos, foi necessário consultar as bases da Scopus, Crossref e o Portal de Periódicos da Capes. A partir do Identificador Digital de Objeto (DOI, do inglês *Digital Object Identifier*), estas bases possuem serviços para consulta automática (por meio de interfaces de programação) do texto do resumo das publicações e, em certos casos, do texto completo (para publicações com acesso livre). Os DOIs de parte dos artigos de periódicos dos pesquisadores relevantes foram obtidos do SIGA e Lattes-CNPq. O Portal de Periódicos da Capes não possui uma forma automática de obtenção dos dados, assim, alguns textos completos foram obtidos manualmente desta fonte.

Para esta etapa as principais ferramentas utilizadas foram: linguagens de programação SQL, Java e banco de dados MySQL para consulta ao SIGA e aos currículos dos pesquisadores no Lattes-CNPq, linguagem R e pacotes *rscopus* e *rcrossref* para consulta às bases da Scopus e Crossref.

5.1.2 Pré-processamento e organização dos dados

Após obter os dados das fontes, foi necessário realizar o pré-processamento com objetivo de facilitar e uniformizar a análise. De forma geral, cada conjunto de dados foi tratado pelos seguintes procedimentos:

- Remoção de dados incompletos ou inválidos: dados de publicações cadastradas no Lattes-CNPq com dados incompletos ou inválidos foram desconsideradas, por exemplo, sem título, ano de publicação nulo ou inválido, etc.;
- Remoção de duplicidades: publicações cadastradas separadamente por diferentes autores foram unidas com base no DOI, coautores, título e ano de publicação informados;
- Pré-processamento textual: para os dados de títulos, palavras-chave, resumos e textos completos, essa fase envolveu a remoção de símbolos de formatação (negrito, subscrito, etc.), símbolos matemáticos e caracteres inválidos para a língua portuguesa (exceto letras gregas que em certos casos possuem significado na produção);
- Remoção de palavras comuns: para certas análises de mineração textual com base na frequência de palavras, termos comuns (também chamados de *stop words*) da língua inglesa e portuguesa, como *the*, *with*, *a*, *as*, *o*, etc, foram removidas. Além dessas, palavras que não possuem significado direto para o assunto principal do texto, mas comumente em publicações científicas como *abstract*, *obtained* e *results* também foram removidas para análises frequentistas;
- Separação de radicais “nano”: para melhor determinar a influência dos *tokens* relacionados à nanotecnologia, palavras como “nanoparticles” foram separadas em “nano” e “particles”.

Durante esta fase, foram utilizadas as linguagens SQL e banco de dados MySQL para consulta e organização dos dados. Para pré-processamento textual, a linguagem R foi utilizada com pacotes para manipulação de dados e mineração de texto como *tidyverse*, *tm* e *tidytext*.

5.1.3 Análise exploratória dos dados com construção de visualizações e modelos de inferência

Foram utilizadas metodologias mistas, qualitativa e quantitativa, com métodos múltiplos de investigação envolvendo duas fases. A primeira fase envolveu entrevistas com pesquisadores e a análise documental dos relatórios anuais sobre o LCNano, principalmente aqueles envolvendo informações sobre infraestrutura e investimentos. A

segunda fase tratou de uma análise qualitativa, buscando evidenciar o impacto do LCNano e da nova política sobre as produções e redes de colaboração.

A primeira fase contemplou análise qualitativa de dados coletados por meio da realização de entrevistas com os pesquisadores do LCNano. Foram entrevistados os pesquisadores coordenadores dos eixos verticais e transversais e a coordenação geral do LCNano, em um total de sete entrevistados. Todas as entrevistas foram transcritas e agrupadas para análise de conteúdo das falas de cada uma das questões apresentadas, e estão de posse do autor. O objetivo desta *survey* foi identificar as percepções dos respondentes sobre temas, tais como: o SisNANO, o LCNano, a convergência da NT, a multi e interdisciplinaridade da NT no LCNano, a influência da NT em outras áreas de pesquisa que participa e na coprodução, a influência do LCNano na relação com a indústria, dos riscos da NT e formação de RH.

Além disso, durante a primeira fase foi realizada a análise documental dos relatórios anuais do LCNano extraindo os dados referentes a investimentos, infraestrutura de equipamentos, serviços prestados com as empresas, transferência de tecnologia e comercialização.

A segunda fase consiste na análise exploratória dos dados de redes de colaboração e produções científicas, aplicando técnicas de análise usando o Software R para mineração de textos em todo conjunto de dados sobre produções e coautoria pré-processados. O objetivo desta fase é identificar indicadores de impacto da nova política sobre as redes de colaboração e produções científicas relacionadas.

A visualização de dados durante a segunda fase dos resultados teve o objetivo de explorar a informação captada em vista dos indicadores relevantes para o impacto da política. Por exemplo, o aumento do uso de palavras relacionadas a NT nas publicações pode indicar o crescimento do interesse no campo de estudo e possivelmente uma consequência da nova política e implantação do LCNano.

Para auxiliar o entendimento do conjunto de publicações considerado, foram utilizadas técnicas de mineração de texto como análise de frequências de palavras e nuvens de palavras. Além de analisar o quanto um termo é frequente em diferentes grupos de publicações, pode ser interessante identificar quais termos são mais citados em um grupo em particular, mas são pouco citados nos demais grupos. Por exemplo, “tecnologia” pode ser muito citado em publicações de pesquisadores de NT, mas também

em várias outras áreas. Já um termo como “nanopartículas” é muito mais citado em produções da NT relativo a outras áreas. Para identificar estes termos utilizamos o índice *tf-idf* (do inglês *term-frequency/inverse-document-frequency*) que multiplica a frequência de um termo (*tf*) pelo inverso da frequência (*idf*) que ocorre em outros documentos, onde o *idf* é menor caso o termo seja bastante citado nos outros grupos considerados (SILGE e ROBINSON, 2017).

O modelo de tópicos é um framework estatístico que permite entender uma grande coleção de documentos, não pelo entendimento de documentos individuais, mas entender os temas presentes na coleção e contribuindo para responder perguntas gerais sem a intervenção humana. Na modelagem de tópicos a palavra “tópico” assume o significado específico de uma distribuição de probabilidade sobre as palavras, e ao mesmo tempo remete ao significado mais geral de um tema ou assunto do texto. Em outras palavras, dado um conjunto de documentos (por exemplo publicações) o modelo constrói automaticamente um dado número de tópicos mais representativos, conforme a frequência de termos em cada documento. Um tópico é definido por termos mais relevantes, por exemplo “nanopartículas”, “nanocompósitos” e “nanofilmes” possuem grande pertinência *beta* a um tópico envolvendo NT. Da mesma forma, um documento é formado pela união de diferentes tópicos, por exemplo um artigo propondo a utilização da NT para um problema da biologia tem maior pertinência *gamma* a tópicos envolvendo NT e biologia.

Os fundamentos do modelo, origens e técnicas de aplicação aqui utilizados nesta metodologia, estão de acordo com dois trabalhos seminais publicados, o primeiro de Jordan Boyd-Graber, Yuening Hu e David Mimno sobre aplicação do modelo de tópicos: *Applications of Topic Models* (BOYD-GRABER, HU e MIMNO, 2017), e o segundo de Julia Silge e David Robinson sobre mineração de textos: *Text Mining with R – A Tidy Approach* (SILGE e ROBINSON, 2017). No trabalho, modelos de tópicos foram utilizados com o objetivo de detectar de forma automática os temas emergentes com base nos textos das publicações.

No Brasil é crescente o interesse pelo uso de modelos de tópicos para análise de massivos conjuntos de documentos (*corpus*), como demonstram os artigos publicados por outras universidades com análises do perfil da produção científica brasileira e seus principais tópicos de interesse (DUDZIAK, 2018; TRUCOLO e DIGIAMPIETRI, 2014, DIGIAMPIETRI et al, 2012).

Para a construção de métricas estatísticas, visualizações da informação e modelos de tópico no *Software R*, foram utilizados os pacotes de *software* tidytext, widyr, dplyr, tidyr, ggplot2, ggraph, igraph, gutenbergr, topicmodels, reshape2, broom, malletjava, lubridate, stringr e bibliometrix. O *Software R* é um ambiente de software livre para computação estatística e gráficos e tanto a aplicação quanto seus pacotes de *software* podem ser obtidos por download diretamente na página internet do projeto em <https://www.r-project.org/>, ou em <https://cran-r.c3sl.ufpr.br/>.

De forma complementar, para modelagem gráfica e análise de densidade de palavras em nuvem, foram usados os programas de computador VOSViewer (disponível em <http://www.vosviewer.com>) e Gephi (disponível em <https://gephi.org>).

5.2 Resultados

5.2.1 Primeira fase: análise documental dos relatórios sobre infraestrutura e investimentos do LCNano e entrevistas com pesquisadores

No período entre dezembro de 2018 a março de 2019 foram realizadas as entrevistas com os pesquisadores responsáveis pelos eixos verticais e transversais do LCNano e com a coordenação geral do laboratório, ocorrendo 7 entrevistas no total. Nesse mesmo período foram analisados o relatório final de prestação de contas do LCNano para o período de 2012 a 2018, e os relatórios anuais de atividades técnicas dos 12 laboratórios integrantes do LCNano para obtenção dos dados sobre investimentos realizados, serviços prestados e uso da infraestrutura multiusuário.

Nesse período foi identificado como recurso financeiro contratado pelo LCNano e oriundos da política do SisNANO o valor de R\$ 1.788.100,00 para todo o período de 2014 a 2018. Da sua criação em 2012 até 2014 não houve recursos de quaisquer naturezas aportados pelo SisNANO no laboratório. Desses recursos inicialmente contratados foi liberado ao longo do período o valor de R\$ 1.613.200,00 destinados a todos os laboratórios integrantes do LCNano, sendo 40% do total destinados a investimentos em novos equipamentos, 30% destinados ao custeio operacional dos laboratórios e 30% destinados a bolsas de mestrado e doutorado para os projetos de pesquisa em desenvolvimento no âmbito do LCNano. Este montante de recursos liberados pelo SisNANO correspondeu apenas a 30% da demanda inicial solicitada no projeto de implantação do LCNano e submetida para participação no SisNANO em 2012.

Os recursos no montante de R\$ 655.000,00 correspondente a 40% do total liberado, foram integralmente aplicados na aquisição de novos equipamentos para o LCNano. Em função do reduzido valor financeiro liberado para investimentos, em relação à demanda inicial prevista, priorizou-se o investimento para a área de maior transversalidade do laboratório, caracterização e síntese, como forma de maximizar os resultados para o maior número de áreas possíveis. Estima-se em 20% a ampliação, em volume e resolução, da sua capacidade de caracterização física e química de nanopartículas, nanocompósitos e materiais nanoestruturados, baseado na quantidade de projetos de pesquisa atendidos e no volume de prestação de serviços executados pelo laboratório.

Os recursos no montante de R\$ 485.000,00 correspondente a 30% do total liberado, foram integralmente aplicados para a recuperação e manutenção dos equipamentos multiusuários instalados nos laboratórios integrantes do LCNano. Também pela redução do valor liberado em relação à demanda inicial, a prioridade foi para a recuperação de equipamentos de microscopia eletrônica e aquisição de insumos e consumíveis para a operação do conjunto dos laboratórios do LCNano. Tais recursos não foram suficientes para atender toda demanda no período, tendo que ser complementado com recursos de outras fontes, como arrecadação própria na prestação de serviços e uso dos equipamentos multiusuários pelas empresas, e fontes oriundas de outros projetos da universidade, como recursos de projetos com a FINEP, CNPq e Fundação Araucária.

As receitas próprias obtidas através da prestação de serviços do LCNano, tanto no uso dos equipamentos como no desenvolvimento de pesquisa para empresas, e em atividades de consultoria corresponderam a 20% do total dos recursos aplicados pelo SisNANO, e as outras fontes de investimentos e custeio oriundas da UFPR e de projetos externos, corresponderam a 12% desse total. No conjunto de todas as fontes de investimento e custeio obtidas pelo LCNano no período de 2012 a 2018 foram identificados recursos da ordem de R\$ 2.182.200,00 aplicados em aquisição de equipamentos (capital), manutenção e operação da infraestrutura do LCNano (custeio) e bolsas de desenvolvimento tecnológico e doutorado, como demonstrado na Quadro 12.

Quadro 12: Valores aplicados em investimentos, custeio e bolsas no LCNano, período 2012 a 2018

Fonte de recursos	Capital (R\$ mil)	Custeio (R\$ mil)	Bolsas (R\$ mil)
SisNANO	627,8	480,5	504,9
Recursos próprios	0	356,0	0
Projetos externos	0	213,0	0
Total	627,8	1.049,5	504,9
Total geral	2.182,2		

Fonte: Preparado pelo autor, 2018

Tanto os recursos inicialmente propostos pela política do SisNANO, quanto os aprovados para o LCNano e aqueles efetivamente liberados e transferidos, são recursos muito aquém da real necessidade das atividades de P&D do laboratório dado o contexto da inovação para a NT e as metas de ampliar a RUE. Isto porque o total destes recursos correspondeu a somente 30% da expectativa inicial do projeto apresentado pelo LCNano para um horizonte de 4 anos. Considerando que estamos observando um período de 7 anos, com o agravante que nos últimos 3 anos não houve aporte de novos recursos, fica evidente a escassez do investimento realizado pela política do SisNANO. Apesar da iniciativa desta política de CT&I ter uma meta de mais longo prazo e de estabelecer mecanismos de incentivo ao desenvolvimento tecnológico e novas fontes de financiamento, como descrito por Dias (2009), ainda evidencia a continuidade de graves problemas como a escassez de recursos financeiros de capital de risco oriundos do setor produtivo (ABDI, 2010). Outra questão restritiva encontrada que reprimiu as ações de captação de recursos externos, foram os aspectos legais e burocráticos resultando em obstáculos para repassar resultados para o mercado, conforme já evidenciado por Closs e Ferreira (2010).

Com relação às entrevistas realizadas, todos os pesquisadores entrevistados foram unânimes em afirmar que os recursos aportados pela política do SisNANO para o LCNano foram insuficientes em todos os aspectos, estando muito abaixo das metas de investimentos para o LCNano estabelecidas no projeto inicial. Mais ainda, todos

complementam que devido a esta drástica redução dos investimentos previstos, alcançando o patamar de somente 30% da demanda inicial, foi necessária a mobilização de todos pesquisadores do LCNano em buscar alternativas de investimentos complementares através de fontes como projetos da UFPR mas externos ao LCNano, e de outros projetos com CNPq, FINEP e Fundação Araucária.

Entretanto, apesar de um consenso, pelos pesquisadores do LCNano, em torno da insuficiência de recursos financeiros para o LCNano, 70% dos pesquisadores entrevistados ressaltaram que esses investimentos foram importantes para aglutinar os pesquisadores da NT da UFPR, antes dispersos em vários projetos e laboratórios, em torno de uma única gestão da pesquisa em N&N, permitindo que os equipamentos multiusuários tivessem um maior facilidade de acesso e utilização por parte de mais pesquisadores, tanto internos quanto externos à UFPR, bem como para as empresas. De acordo com pesquisador P28, “...O financiamento não foi, de fato, suficiente, mas deu um início para as atividades do LCNano e principalmente serviu para os pesquisadores se aglutinarem em torno de uma sistemática única da pesquisa em NT.”, o que foi complementado por P17 com “...apesar dos poucos recursos do SisNANO, permitiu tornar a universidade visível como uma possível parceira de empresas de nanotecnologia e inovação. ”, (ENTREVISTAS, 2019).

Por outro lado, 30% dos entrevistados afirmam que esta insuficiência de recursos aportados pelo SisNANO foi decisiva em impactar o projeto do LCNano, impedindo que as metas iniciais planejadas fossem alcançadas e nem tampouco foram capazes de proporcionar alguma vantagem para a N&N na UFPR. Agrava o fato relatado que além da insuficiência de recursos, ainda houve problemas de distribuição destes dentro da própria rede do SisNANO. Para o pesquisador P12 sua percepção é que: “Eu achei que a NT a partir do LCNano com apoio do SisNANO fosse deslanchar mais, eu acho que ficou um pouco aquém das expectativas. Este cenário pode estar relacionado com a restrição de recursos oriundos do SisNANO e sua forma de aplicação.”. Corrobora esta percepção o pesquisador P34 com a alegação: “Foi bastante insuficiente e não dava para fazer muita coisa...os recursos do SisNANO ele teve um problema pois já não era muito mas ele teve outro problema foi o problema da distribuição dentro da própria rede...”, (ENTREVISTAS, 2019).

Com relação à infraestrutura do laboratório, 40% dos entrevistados são de opinião que esta ainda não está dimensionada de acordo com a expectativa dos grupos de pesquisa

em NT participantes do laboratório, e consideraram que o SisNANO deveria ter aportado mais investimentos no LCNano, pelo fato deste ter sido o único dos laboratórios integrantes da rede SisNANO que entrou na forma institucional e multidisciplinar. Tal fato pode ser traduzido em um potencial de atuação do LCNano maior que os demais laboratórios associados integrantes do SisNANO que são laboratórios de grupos temáticos em N&N. Nesse sentido, por abordar várias temáticas em NT dentro do mesmo laboratório, além de operar com mais áreas transversais que os demais, o LCNano poderia ter sido contemplado com mais recursos de investimentos em infraestrutura, segundo estes pesquisadores entrevistados.

5.2.1.1 Mapa de competências

As competências do LCNano foram identificadas através das especialidades de seus pesquisadores, das áreas de atuação dos seus grupos de pesquisa certificados pelo DGP/CNPq e seus resultados publicados, entre produção científica, patentes e áreas de formação de recursos humanos nos níveis de mestrado, doutorado e pós-doc.

Uma das áreas que experimentou significativo avanço em N&N foi a de nanomateriais e nanocompósitos para a indústria madeireira e de recursos agroflorestais. Esta área além dos pesquisadores do LCNano envolve cooperação em rede com pesquisadores externos da Embrapa-Florestas, Technical Research Centre of Finland (VTT) e do SENAI para a realização de pesquisas em nanotecnologia sustentável baseada em resíduos agroflorestais e/ou agroindustriais e em materiais lignocelulósicos fornecidos por empresas de celulose e papel.

Esta área desenvolveu novos produtos e materiais com alto valor agregado usando processos nanotecnológicos a partir de fontes renováveis e resíduos agroindustriais, contribuindo assim para aplicações em produtos e processos energeticamente eficientes bem como economicamente e ambientalmente sustentáveis.

Não menos importante e com expressiva produção científica em N&N está a área de química de materiais, atuando na síntese e caracterização de nanomateriais, polímeros condutores como fração orgânica em materiais híbridos e nanotubos de carbono incorporados em materiais nanoestruturados para aplicações em energia e sensores. Foi desenvolvido novo método de obtenção de material nanométrico com aplicações em baterias, sensores e dispositivos eletrocrômicos. Os resultados da pesquisa estão publicados no periódico Scientific Reports, da revista Nature.

Este novo material é formado pela combinação de grafeno e hidróxido de níquel. O grafeno é um material bidimensional que tem a espessura de um único átomo de carbono, e que apresenta propriedades muito interessantes. Já o hidróxido de níquel é muito conhecido e aplicado em baterias, entre outros.

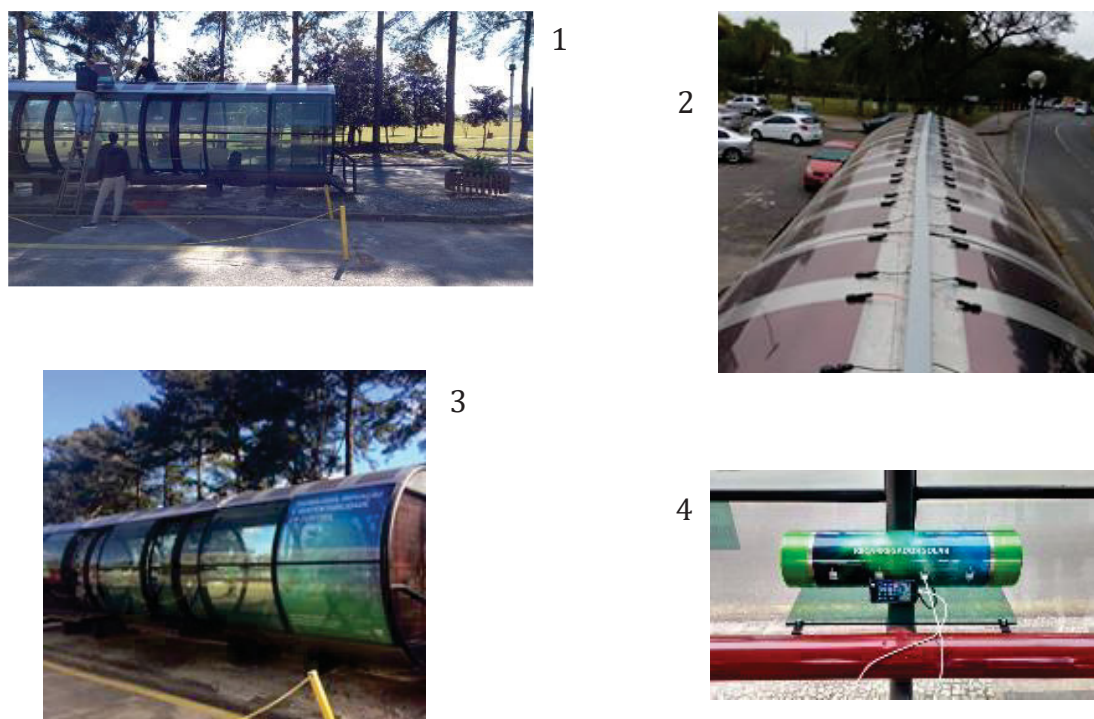
A sintetização de materiais a partir de grafeno e hidróxido de níquel já existia, inovando aqui com uma nova rota para essa produção. Com a produção de um filme fino nanoestruturado pode ser depositado em uma superfície sólida, como se fosse uma tinta. Possui aplicações em baterias recarregáveis, para celulares ou outros aparelhos. Foi demonstrado que a performance do nanocompósito pode ser muito boa, devido à combinação de propriedades do grafeno e do hidróxido de níquel nanométrico.

O nanocompósito pode ser aplicado também em dispositivos eletrocromáticos, que são materiais que mudam de cor quando se aplica uma tensão. Por exemplo, janelas inteligentes que mudam de cor de acordo com a intensidade da luz do sol.

Outra área de competência em NT que emergiu no LCNano é a de dispositivos nanoestruturados para aplicações em optoeletrônica e células solares orgânicas (OPV). Foram projetadas e construídas células solares orgânicas contribuindo para a inovação no segmento de urbanidades sustentáveis. Tais dispositivos nanoestruturados foram instalados no campus Politécnico da UFPR em uma estação de ônibus, denominada TUBO e típica da cidade de Curitiba. As células solares orgânicas são capazes de fornecer energia elétrica, obtida de forma limpa, para operação da estação e consumo dos usuários em trânsito. Através de tomadas tipo USB (universal serial bus) permite o carregamento de baterias e utilização de equipamentos eletrônicos portáteis.

Esse pequeno laboratório em formato de ponto de ônibus tubular também é utilizado para divulgar as pesquisas na área de energias renováveis e sensores para qualidade do ar, fabricados com materiais nanoestruturados desenvolvidos no LCNano. A Figura 7 demonstra a instalação das células solares orgânicas nanoestruturadas no teto da estação TUBO.

Figura 7: Estação TUBO com células solares orgânicas projetadas no LCNano



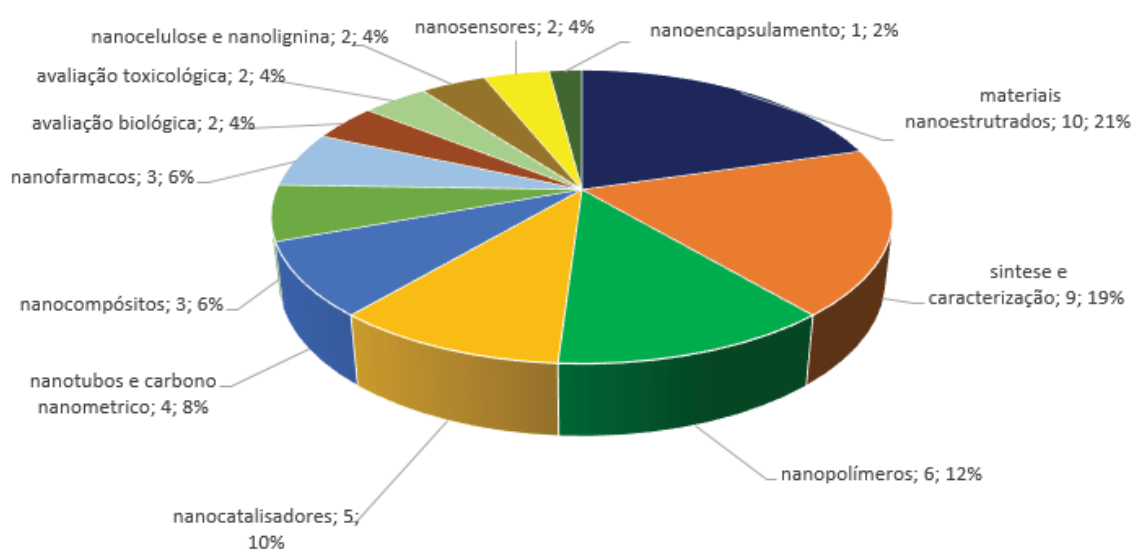
Fonte: o autor

Em sentido horário, a imagem 1 apresenta a vista de frente da estação com a plataforma elétrica automatizada para embarque/desembarque de passageiros. A imagem 2 mostra a vista superior da estação com os painéis das células solares orgânicas instalados e perfilados. A vista lateral com abertura de portas de forma automática com energia gerada pelas OPV está na imagem 3, seguida da imagem 4 demonstrando a utilização da energia elétrica convertida pelas células solares orgânicas, para iluminação ambiente e sinalização da estação e para utilização em equipamentos eletrônicos portáteis dos usuários do sistema de transporte urbano através do módulo de tomadas tipo USB disponibilizado.

Em 2018 os grupos e pesquisa em N&N vinculados aos pesquisadores integrantes do LCNano, e registrados no DGP/CNPq, totalizaram 48 grupos cujas principais linhas de pesquisa agrupadas pelas áreas de NT dos eixos verticais e transversais do LCNano representam as competências do LCNano para P&D. Estas áreas de competência estão representadas no Gráfico 12. As cores foram usadas somente para a separação entre as diversas áreas e não tem significado de valor. As áreas mais representativas em número de linhas de pesquisa e pesquisadores do LCNano envolvidos são as de materiais nanoestruturados com 10 grupos e 21% do total, seguida das áreas de síntese e caracterização de nanopartículas e nanomateriais, com 9 grupos e 19% do total,

e da área de nanopolímeros com 6 grupos e 13% do total. Formam um grupo intermediário as áreas de nanocatalisadores, nanotubos e carbono nanométrico, nanocompósitos e nanofármacos com 3 a 5 grupos e representando de 6% a 10% do total. O grupo de menor representatividade em termos de grupos de pesquisa e linhas de pesquisa é formado pelas áreas de avaliação biológica e toxicológica, nanocelulose e nanolignina, nanosensores e nanoencapsulamento, com 1 a 2 grupos cada e representando de 2% a 4% do total de grupos e linhas de pesquisa.

Gráfico 12: representação das áreas de NT do LCNano por grupos e linhas de pesquisa



Fonte: o autor com dados do Relatório Técnico LCNano, 2018 e DGP/CNPq, 2018.

O grupo de pesquisadores do LCNano tem competências na produção de materiais nanoestruturados aplicados ao desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos, de memória e sensores, células solares flexíveis, nanocatalisadores. Na síntese e caracterização de nanopartículas como grafeno e nanotubos de carbono, na obtenção de nanocelulose e nanolignina na composição de materiais nanoestruturados para as indústrias de papel, embalagens e recursos agroflorestais.

5.2.1.2 Relações com as Empresas

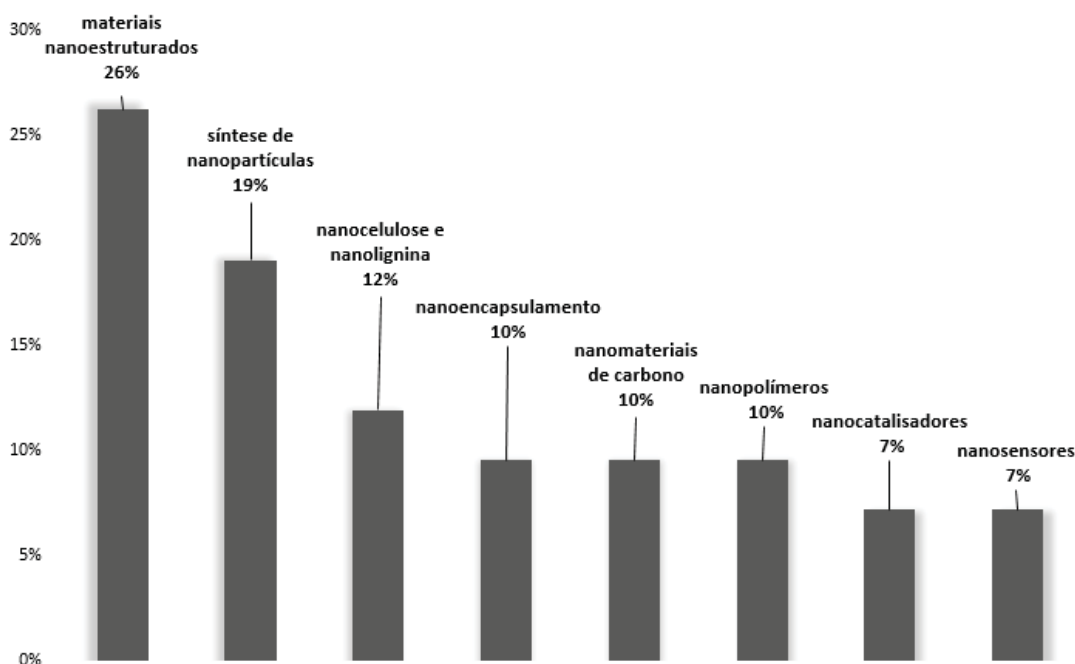
A relação com as empresas é um dos objetivos específicos do SisNANO e também do LCNano. Essas relações foram fomentadas e construídas através do atendimento à demanda por soluções tecnológicas das empresas em projetos que envolviam NT, na prestação de serviços pelos laboratórios do LCNano e na utilização de

parte do tempo disponível dos equipamentos multiusuários do laboratório que foi destinado ao uso na pesquisa e desenvolvimento tecnológico para as empresas. Essas atividades foram apoiadas pelas parcerias estabelecidas pelo LCNano com outras instituições de ensino e pesquisa tanto no âmbito estadual quanto nacional e internacional. Também, de forma transversal na UFPR, o LCNano colaborou com os diferentes departamentos em todos os setores como mecanismo complementar às questões multidisciplinares que demandam o atendimento da relação universidade-empresa.

O LCNano foi capaz de estimular a RUE. Algumas de suas áreas de P&D em NT obtiveram sucesso em estabelecer uma relação universidade-empresa, destacando-se dentre elas as áreas de materiais nanoestruturados, nanocelulose e nanolignina, síntese de nanopartículas e nanotubos de carbono, nanopolímeros, nanocatalisadores e nanosensores. A área de microscopia eletrônica, de caráter transversal, apesar de contar com novos investimentos em equipamentos e acessórios, advindos de recursos do SisNANO e SIBRATEC, o que permitiu ampliar seu escopo de técnicas e serviços, não obteve sucesso em traduzir os estímulos desta política em novas RUE. O aumento de suas atividades relacionadas ao contexto de P&D com as empresas deu-se unicamente pela procura espontânea das empresas como já acontecia antes da criação do LCNano. Um dos motivos para este cenário foi a escassez de recursos humanos especializados capaz de operar os equipamentos altamente especializados do CME além da demanda da própria instituição.

Os Gráficos 13 e 14 mostram o perfil da RUE construída pelo LCNano, a partir de sua implantação em 2012 representando, respectivamente, as áreas de nanotecnologia envolvidas com as empresas e ao setor industrial destas. Mais da metade das atividades de P&D com as empresas estão concentradas nas áreas de desenvolvimento de materiais nanoestruturados, síntese de nanopartículas e na obtenção de nanocelulose e nanolignina.

Gráfico 13: Perfil da relação LCNano-empresa por área nanotecnológica, período 2012 a 2018

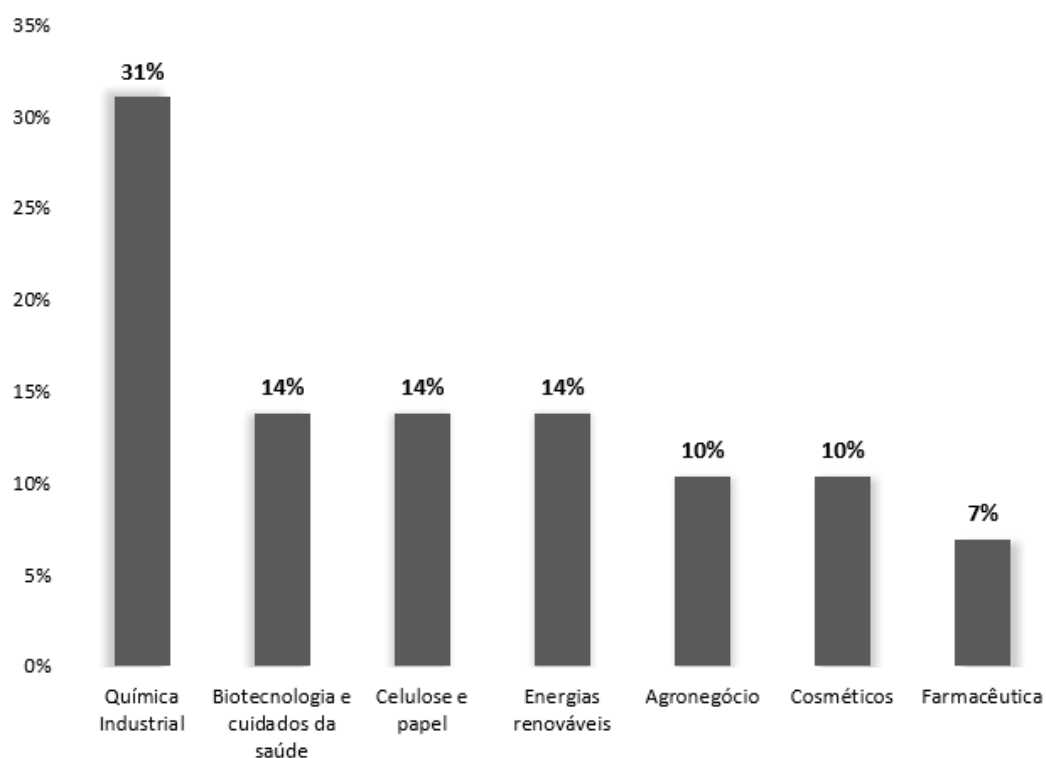


Fonte: o autor com dados do Relatório Técnico LCNano, 2018

Com relação ao setor industrial atendido pela RUE do LCNano, há uma predominância da P&D para o setor de química industrial, sendo representativos também os setores de biotecnologia e cuidados da saúde, celulose e papel, energias renováveis, agronegócios, cosméticos e indústria farmacêutica.

Parte dos entrevistados do LCNano (P8, P17, P18, P28) destacaram que com a implementação do SisNANO e do LCNano aumentaram, em suas áreas de especialidade, os projetos em parceria com empresas e a prestação de serviços relacionados a NT, ampliando a relação universidade-empresa. Entretanto pesquisadores de outras áreas (P10, P12, P13, P34) foram categóricos em afirmar que, para suas áreas de atuação e no âmbito dos laboratórios a que estão vinculados não houve este aumento de projetos com empresas motivados pelo LCNano ou SisNANO, mas que esta procura por serviços e projetos com o LCNano foi de forma espontânea pelas empresas como já acontecia antes desta política do SisNANO. Alegam que as ações do SisNANO não foram suficientes para estimular as parcerias com empresas, principalmente devido à escassez tanto de recursos humanos capacitados nas diversas áreas dos laboratórios do LCNano, como de recursos financeiros aplicados, bem como a sua não previsibilidade, o que impediu de firmar compromissos consistentes de P&D com as empresas (ENTREVISTAS, 2019).

Gráfico 14: Perfil da relação LCNano-empresa por setor industrial, período 2012 a 2018

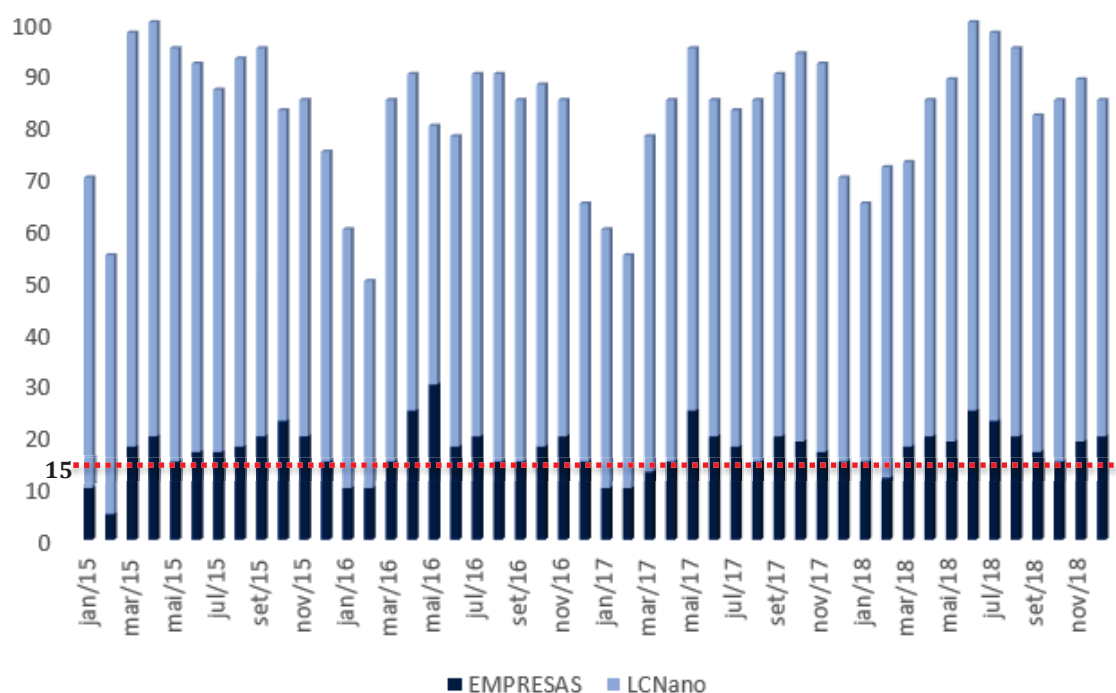


Fonte: Preparado pelo autor, 2018

Do total de projetos em cooperação internacional, induzidos pelo LCNano, somente dois foram com empresas de outros países e relacionados com a área de materiais nanoestruturados, sendo um no setor de química industrial e outro em nanobiotecnologia, sendo as demais cooperações internacionais do LCNano relacionadas ao atendimento das questões vinculadas a RUE nacional.

Como laboratório associado ao SisNANO o LCNano garante o tempo mínimo de 15% do total de tempo de uso dos equipamentos multiusuários para uso por pelas empresas e por outras instituições externas à UFPR, diretamente por especialistas destas ou em projetos de P&D e consultoria contratados com o laboratório. O gráfico 15 demonstra a utilização geral do conjunto desses equipamentos do LCNano com o detalhe de uso por empresas e instituições externas, no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2018.

Gráfico 15: Percentual do tempo de uso de equipamentos por empresas/instituições externas e o LCNano, período 2015 a 2018



Fonte: Preparado pelo autor, 2018

O tempo de utilização está representado em percentual do tempo total disponível dos equipamentos. A redução do tempo utilizado nos meses de janeiro e fevereiro de cada ano, tanto pelas empresas quanto pelo próprio laboratório, pode ser explicado pelo período de recesso da universidade em janeiro e por períodos de prolongado feriado nacional em fevereiro que mantém o laboratório fechado. Também nesses dois meses do ano concentram-se as atividades de manutenção preventiva dos equipamentos o que contribui para esta redução da disponibilidade do tempo total de uso. Os dados mostram que o LCNano atendeu as metas previstas na política do SisNANO, administrando seus recursos e competências no compartilhamento do uso dos equipamentos e na construção de uma RUE voltada às suas áreas de P&D para a NT.

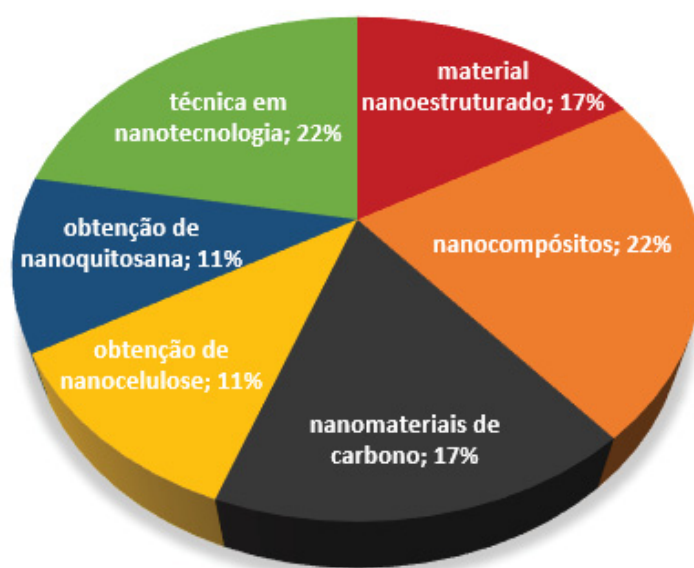
5.2.1.3 Transferência de tecnologia e comercialização

As transferências de nanotecnologia e comercialização do LCNano foram identificadas nas formas de patentes depositadas a partir de 2012 pelos pesquisadores integrantes do LCNano e no licenciamento de propriedade intelectual, da prestação de

serviços especializados em NT para atender a demanda das empresas, e nas atividades de consultoria para as empresas que estejam relacionadas a temas da NT.

Nesse período foram depositadas, pelo conjunto dos pesquisadores do LCNano, um total de 18 patentes relacionadas a NT. A Figura 8 mostra o perfil das patentes quanto a nanotecnologia aplicada.

Figura 8: Perfil das patentes depositadas em relação a nanotecnologia aplicada, LCNano período 2012 a 2018



Fonte: Preparado pelo autor, 2018

As patentes relacionadas a nanocelulose e nanoquitosana estão, até a conclusão deste estudo em 2019, em processo de negociação para licenciamento das tecnologias para as indústrias de madeira, papel e celulose e embalagens para a nanocelulose, e para a indústria de alimentos voltada ao desenvolvimento de bebidas funcionais para a nanoquitosana. Com as nanotecnologias de carbono são produzidos pelo LCNano grafeno e nanotubos de carbono aplicados em nanocompósitos e nanocatalisadores. Os materiais nanoestruturados estão presentes nas células solares orgânicas. Todas as patentes estão relacionadas com as principais áreas de NT do laboratório. Ainda que incipiente este processo de inovação traduz em um encorajamento à cooperação e à colaboração entre laboratório e indústria, visando o aumento do nível de competitividade industrial e que poderá dar origem a novas redes de inovação, no mesmo cenário descrito por Santana e Porto (2009).

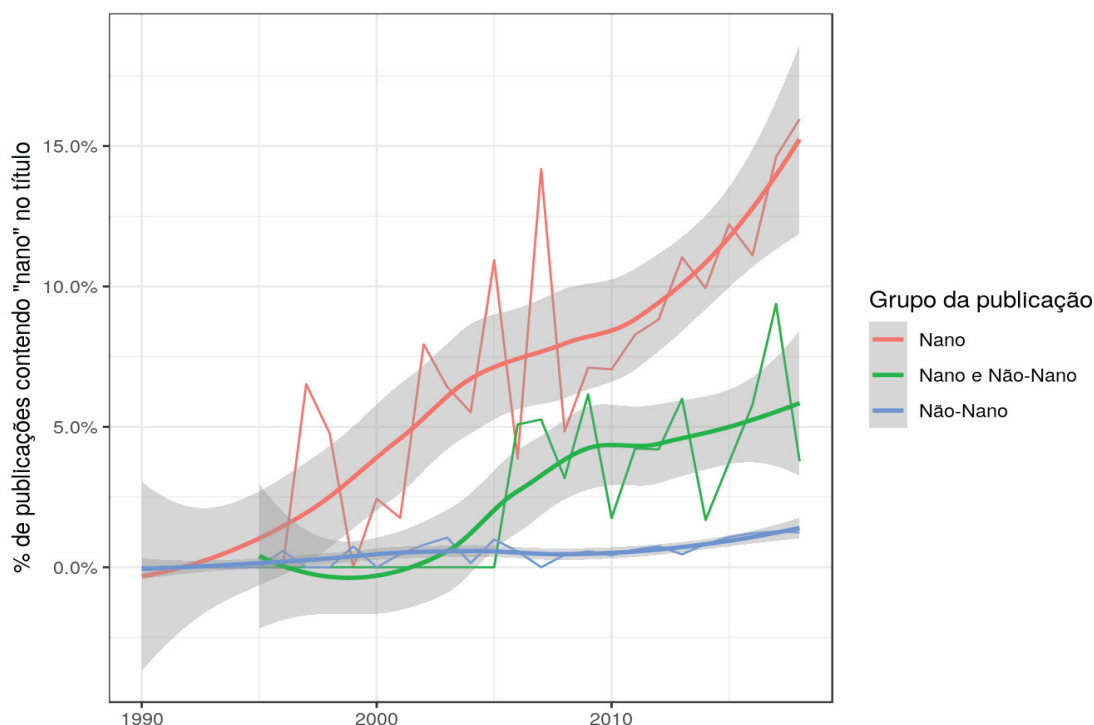
5.2.2 Segunda fase: análise exploratória dos dados de redes de colaboração e produções científicas

Os resultados foram depreendidos do currículo lattes de 42 pesquisadores do LCNano e 340 pesquisadores do grupo de controle. Dessa população, foram obtidas 22.747 publicações, sendo 3.128 (14%) envolvendo exclusivamente pesquisadores do LCNano, 1.357 (6%) publicações com autores que pertencem ao LCNano juntamente com outros autores que não pertencem ao laboratório e 18.262 (80%) publicações com autores exclusivamente do grupo de controle.

5.2.2.1 Análise sobre os títulos e palavras-chave

A primeira análise sobre os dados das publicações é a respeito do título e palavras chave. Títulos de publicações que envolvem o radical “nano” são muito provavelmente relacionadas à NT. A Figura 9 mostra o percentual de publicações com “nano” no título para os diferentes pesquisadores ao longo do tempo. Nota-se que: havia publicações relacionadas à NT pelos integrantes do LCNano mesmo antes do ano 2000; houve um crescimento no número de publicações relacionadas com a NT tanto daquelas com autoria de integrantes do grupo nano como aquelas de autoria do grupo não nano por volta do ano de 2005, logo após a implementação do Programa Nacional de Nanotecnologia; e o interesse em NT vem crescendo nos três grupos, principalmente a partir do ano 2010, com muito maior dinamismo das produções relativas a NT para o grupo nano.

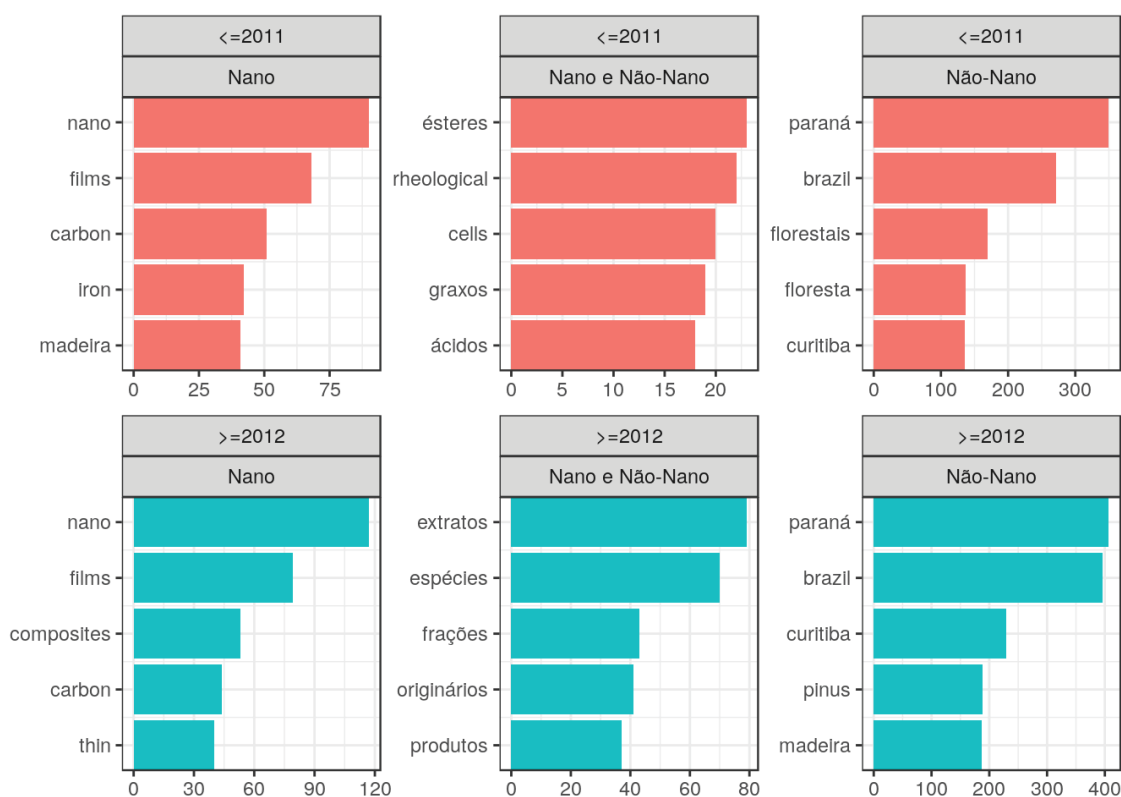
Figura 9: Percentual de publicações com “nano” no título ao longo do tempo, para cada grupo de pesquisadores.



Fonte: o autor.

A Figura 10 mostra as palavras mais comuns contidas nos títulos das publicações, considerando os diferentes grupos de publicação nos dois períodos pré- e pós-LCNano. Para o grupo nano, as palavras comuns são “nano”, “*films*” e “*carbon*”, sendo que na segunda as palavras “*composites*” e “*thin*” substituem as palavras “*iron*” e “*madeira*”. Isto pode estar relacionado a uma maior atividade de pesquisa com nanotubos de carbono e a filmes finos, temas da NT. Os títulos das publicações não exclusivas dos integrantes do laboratório contêm termos relacionados à química orgânica e engenharia florestal como “ácidos”, “graxos”, “ésteres”, “madeira”, “pinus” etc, bem como locais de estudo “paraná”, “brazil”, **o que demonstra que as produções do grupo não nano para o período anterior ao LCNano não era expressiva, em relação à pesquisa realizada, para os temas da NT.** O mesmo acontece para as produções onde há autoria de pesquisadores dos dois grupos na mesma produção, onde não há palavras diretamente relacionadas com a NT.

Figura 10: Frequência de palavras contidas nos títulos das publicações de cada grupo, em cada período.

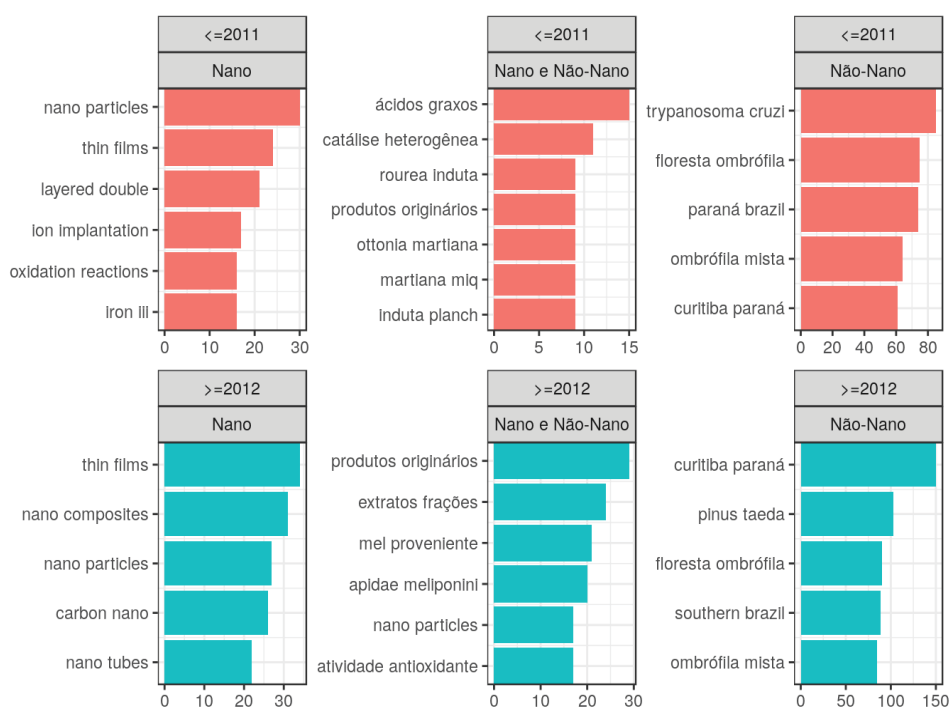


Fonte: o autor.

Para obter melhor ideia do contexto dos temas referidos, a Figura 11 apresenta a mesma análise de frequências, mas desta vez considerando duplas de palavras. O grupo nano aparece com várias ocorrências relacionadas à NT mesmo no período pré LCNano (≤ 2011), como “*nano particles*” e “*thin films*”, o que era esperado pois o LCNano partiu de uma infraestrutura já existente que atuava, embora dispersa, com a N&N. No segundo período, todas as duplas de palavras mais frequentes fazem referência a algum termo relacionado a NT. Títulos contendo “*nano particles*” também tornam-se mais comuns no segundo período em publicações envolvendo pesquisadores do LCNano com outros pesquisadores fora do laboratório. Os dados sugerem que houve uma maior participação de pesquisadores do grupo não nano com produções relativas a NT em conjunto com pesquisadores do grupo nano. **Isto pode significar que mais áreas e especialidades, além daquelas contempladas no LCNano, foram envolvidas nos temas da pesquisa realizada nesse período devido a interdisciplinaridade das questões da NT, exigindo**

conhecimentos complementares aos dos pesquisadores do laboratório. As produções exclusivas do grupo de controle (Não Nano) não possuem tantas menções à NT nos títulos, apenas observamos que termos como “*trypanosoma cruzi*” perderam popularidade no segundo período.

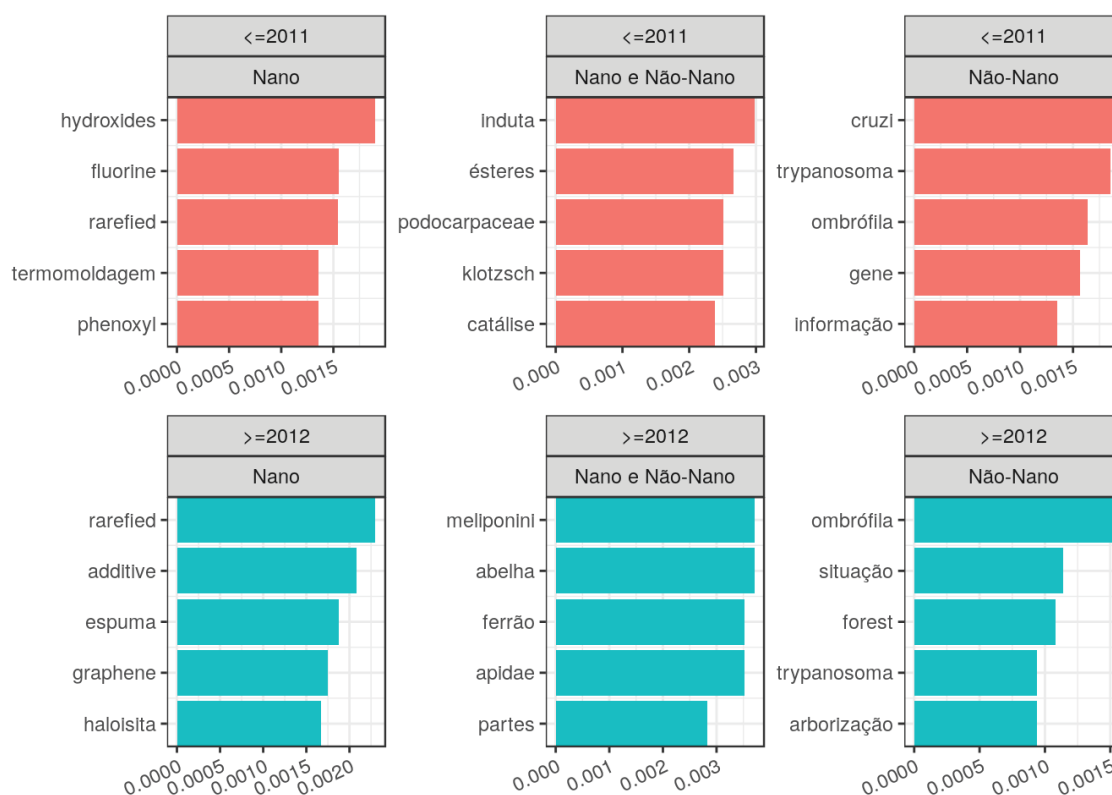
Figura 11: Frequência de duplas de palavras contidas nos títulos das publicações de cada grupo, em cada período.



Fonte: o autor.

Com o objetivo de encontrar os termos mais relevantes de cada período, observamos os termos com maior índice *tf-idf* por período na Figura 12. Percebemos que para o grupo de pesquisadores LCNano os termos “*hidroxides*”, “*fluorine*” e “*termosoldagem*” perdem relevância no segundo período, o qual se destacam palavras como “*additive*” e “*graphene*”. **Isso mostra que pesquisas com o termo “*graphene*” no título, relacionado à NT, são mais frequentes no segundo período relativo à sua frequência no primeiro período.** Para os demais grupos, pesquisas relacionadas com apicultura (“*abelha*”, “*ferrão*” etc) são próprias do segundo período no conjunto de publicações não exclusivas de pesquisadores LCNano.

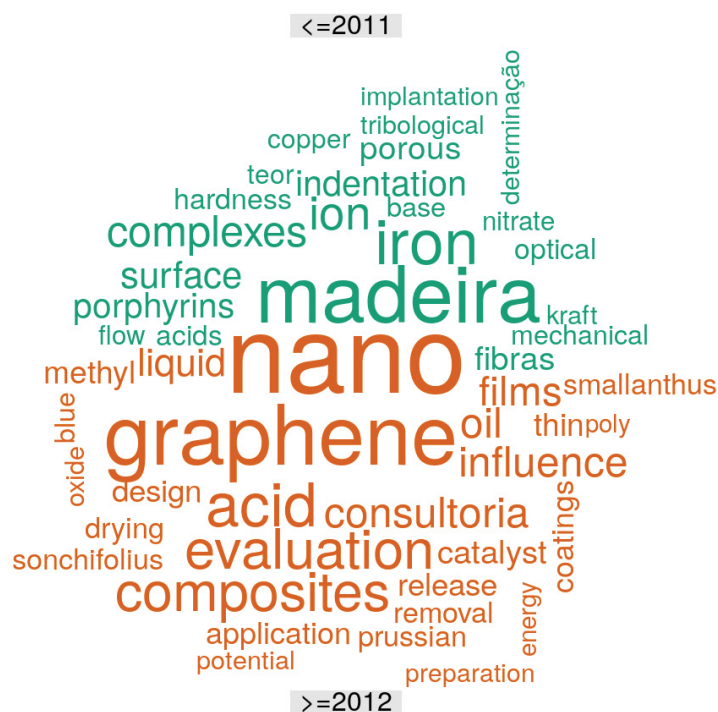
Figura 12: Palavras com maior *tf-idf* contidas nos títulos das publicações de cada grupo, calculado para cada período.



Fonte: o autor.

O termo “nano”, embora seja bastante citado, não se destaca como sendo exclusivo do segundo período, pois também foi bastante citado no primeiro período. A Figura 13 mostra uma nuvem de palavras comparando a diferença absoluta das frequências dos termos nos dois períodos (o tamanho da palavra é proporcional à diferença entre a frequência dos termos em cada período) apenas para publicações exclusivas do LCNano. O termo “nano” é citado 90 vezes no primeiro período e 117 vezes no segundo período e possui o maior ganho absoluto de ocorrência. O termo “*graphene*” é citado uma vez no primeiro período e 34 vezes no segundo período. O termo “*prussian*” refere-se a um composto químico denominado de azul da Prússia, (do inglês *Prussian blue* ou PB), sendo citado neste segundo período em produções que envolvem a síntese de nanotubos de carbono por ser utilizado em técnicas de monitoramento de reações químicas. Os dados sugerem que a pesquisa em nanoestruturas de carbono, como grafeno e nanotubos de carbono emergem com o LCNano. Termos como “*iron*” e “*madeira*” deixaram de aparecer tão frequentemente nos títulos das produções.

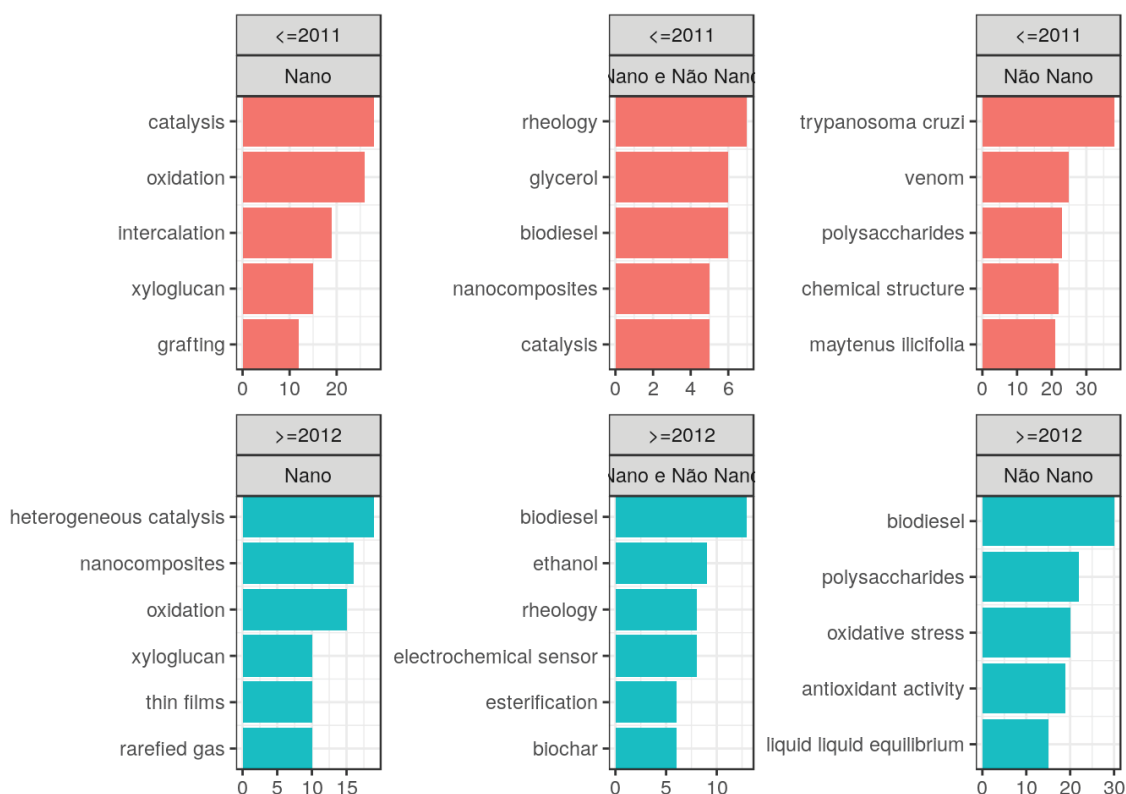
Figura 13: Palavras com maior *tf-idf* contidas nos títulos das publicações de cada grupo, calculado para cada período.



Fonte: o autor.

As palavras-chaves das publicações podem conter mais informações que os termos utilizados nos títulos das produções. Por outro lado, palavras-chaves geralmente são mais esparsas e únicas de cada publicação. A Figura 14 apresenta as palavras-chaves com maior frequência, obtidas das produções dos pesquisadores investigados que possuem DOI e estão indexadas na Scopus ou Crossref (2976 produções ao todo). Observamos que “*nanocomposites*” e “*thin films*” estão entre os mais citados no segundo período do grupo de publicações exclusivas do LCNano, além de 5 ocorrências em publicações em conjunto com outros pesquisadores ainda no período anterior ao laboratório (≤ 2011). Nas demais publicações, vemos que “*biodiesel*” foi bastante referenciada no segundo período.

Figura 14: Frequências de palavras-chave em publicações nos dois períodos e grupos de pesquisadores.

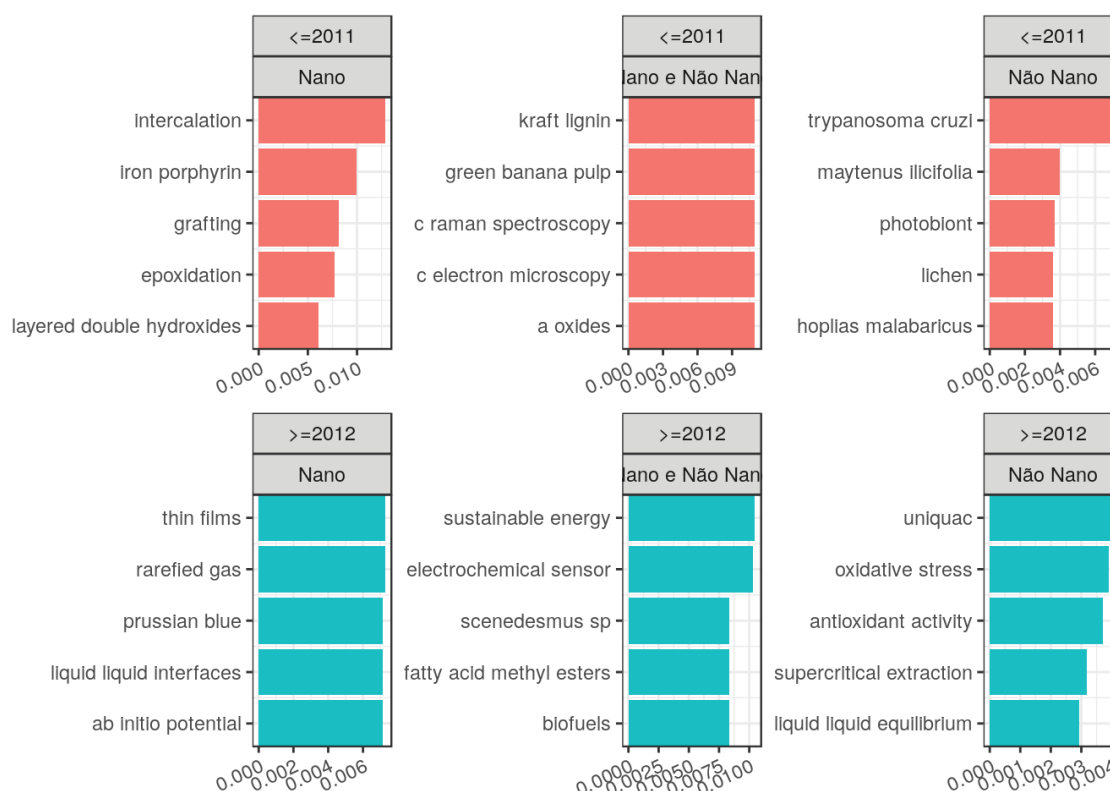


Fonte: o autor.

A Figura 15 mostra as palavras-chave com maiores índices *tf-idf* de cada período e grupo de autores. Destaca-se que, para o grupo de pesquisadores LCNano, a palavra-chave “*thin films*” é relativamente mais frequente no segundo período, após a implantação do laboratório. Este termo é citado nas produções relativas a síntese de grafeno e caracterização de materiais nanoestruturados. Nas publicações compartilhadas com outros pesquisadores, o segundo período se destaca com “*sustainable energy*” e “*biofuels*”. Estes termos são citados em produções relacionadas à síntese de nanocatalisadores aplicados na produção de biogás. Nas publicações que não envolveram pesquisadores do LCNano, palavras-chave como “*trypanosoma cruzi*” foram relevantes ao primeiro período enquanto que no segundo período processos da química como “*uniquac*” são relativamente mais citados. **Os dados sugerem que no período após a implantação do LCNano houve um crescimento na produção científica relacionada a NT, com novas áreas e especialidades antes não contempladas, bem como uma maior rede de colaboração envolvendo pesquisadores do grupo não nano,**

possivelmente por contribuírem com especialidades exigidas pela multidisciplinaridade da NT.

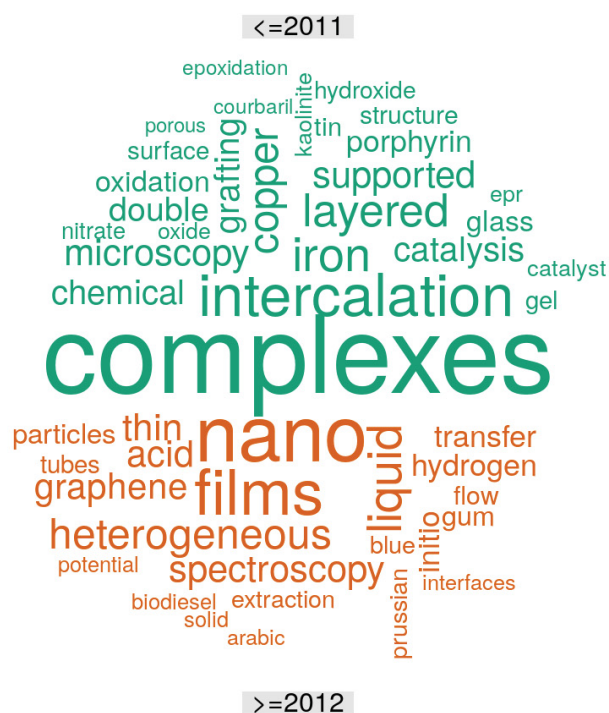
Figura 15: Palavras-chave com maior *tf-idf* de acordo com período e grupo autores das produções.



Fonte: o autor.

A Figura 16 apresenta uma nuvem de palavras comparando palavras-chave nos dois períodos das publicações exclusivas do LCNano. Destaca-se a transição de palavras como “complexes”, “iron” e “intercalation” para “nano”, “films”, “graphene” e “spectroscopy”. Este resultado reforça o anterior sobre o deslocamento da pesquisa dos pesquisadores do grupo nano, para temas mais relacionados a NT e uma maior diversidade de áreas e especialidades envolvidas. Neste grafo fica mais claro a importância dos temas da NT como grafeno, relacionado a síntese e caracterização de nanopartículas e de materiais nanoestruturados de carbono, dos filmes finos usados em técnicas de produção de nanoestruturas por deposição em superfícies. Destaca-se também a palavra “spectroscopy”, relativa a técnicas de espectroscopia, largamente utilizada na identificação e caracterização de nanopartículas, nanomoléculas e materiais nanoestruturados.

Figura 16: Palavras-chave com maior *tf-idf* de acordo com período e grupo autores das produções.



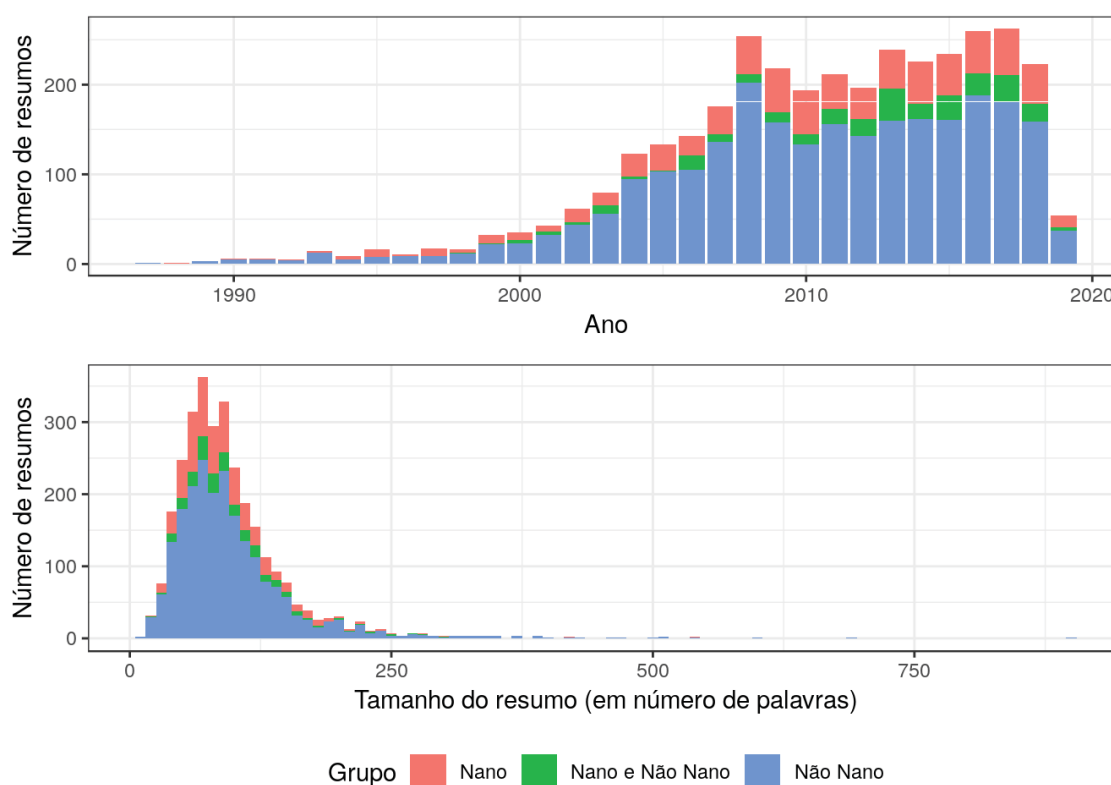
Fonte: o autor.

5.2.2.2 Análise sobre os resumos e textos completos das publicações

Da amostra de 22.747 produções, foram obtidos por meio de consulta automatizada os meta-dados de 2.976 (13%) produções das bases da Scopus e Crossref, que foram aqueles de acesso público. Este tipo de consulta é realizado via rede de computadores conectado à internet utilizando-se de programas de software específicos denominados de API, (do inglês *Application Programming Interface*), que são disponibilizados para acesso público através das páginas internet das respectivas bases. Os dados incluem as palavras-chave investigadas na Seção 5.3.2.1 e os resumos analisados nesta seção. Muitas publicações não contêm DOI cadastrado no Lattes ou não são indexadas pela Scopus ou Crossref. Entretanto, observamos que as publicações indexadas e com DOI muitas vezes tratam-se de artigos em periódicos de grande importância. A análise dos resumos com técnicas de mineração de texto desta seção pode melhorar o entendimento do impacto do LCNano nas produções.

Das 2.976 publicações, 385 envolvem pesquisadores do LCNano no primeiro período e 451 no segundo período. A distribuição de resumos encontrados para cada ano e grupo de autores, bem como a distribuição do tamanho dos resumos, é mostrado na Figura 17. Nota-se que a grande maioria dos resumos estão concentradas entre 2007 e 2015 (1º e 2º quartis) e que cada resumo, após o pré-processamento possui entre 62 e 115 palavras. Pode-se observar que, a partir de 2012 ano de implantação do LCNano, o número de publicações conjuntas do grupo nano e não nano aumenta com relação aos anos anteriores. Isto pode estar relacionado a uma maior multidisciplinaridade dos temas da NT.

Figura 17: Distribuição do número de resumos encontrados por ano (cima) e número de palavras por resumo (baixo).

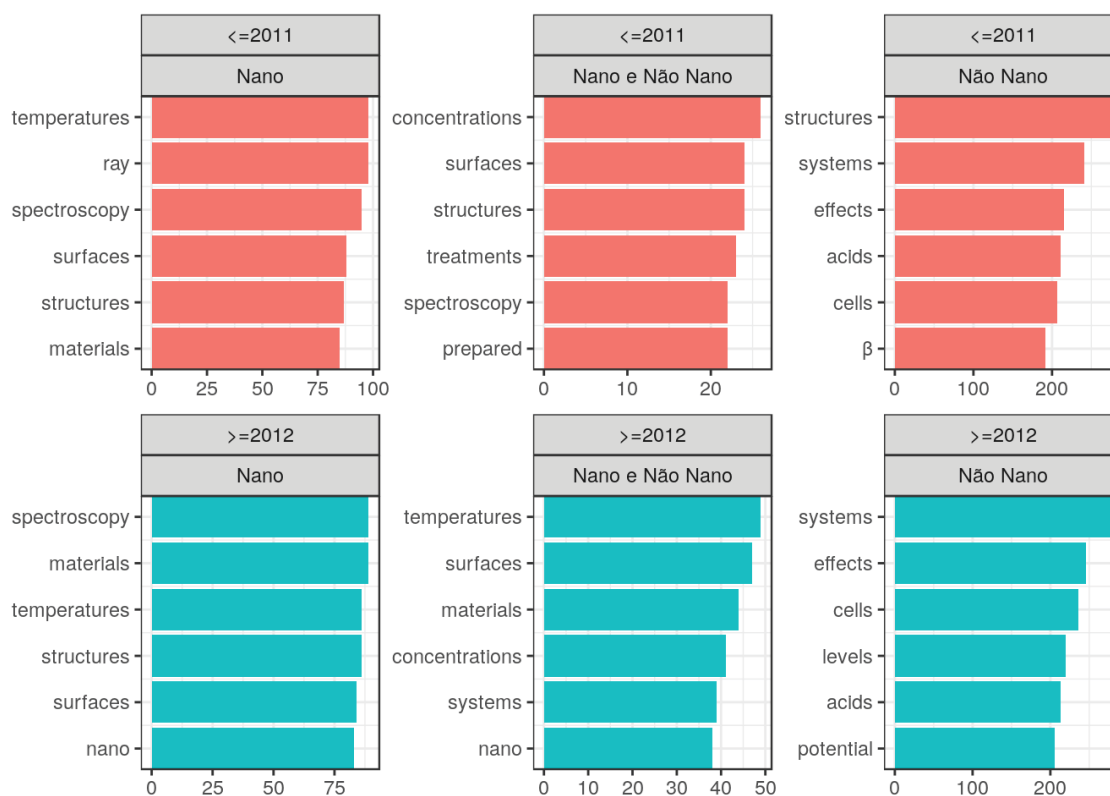


Fonte: o autor.

Os termos mais frequentes dos resumos em cada grupo de publicações e período podem ser vistos na Figura 18. Os termos comuns na maioria dos grupos são “*temperature*”, “*structures*”, “*systems*” e são de grande uso em textos científicos descrevendo experimentos nas áreas dos pesquisadores selecionados. O radical “nano” aparece como mais citado em produções exclusivas de autores do LCNano e publicações que envolveram também pesquisadores fora do LCNano (grupo Nano e Não Nano).

Termos comuns em produções que não envolvem pesquisadores LCNano são “*cells*”, “*acids*” e “*potential*”, possivelmente encontradas em publicações de grandes áreas como química e biologia.

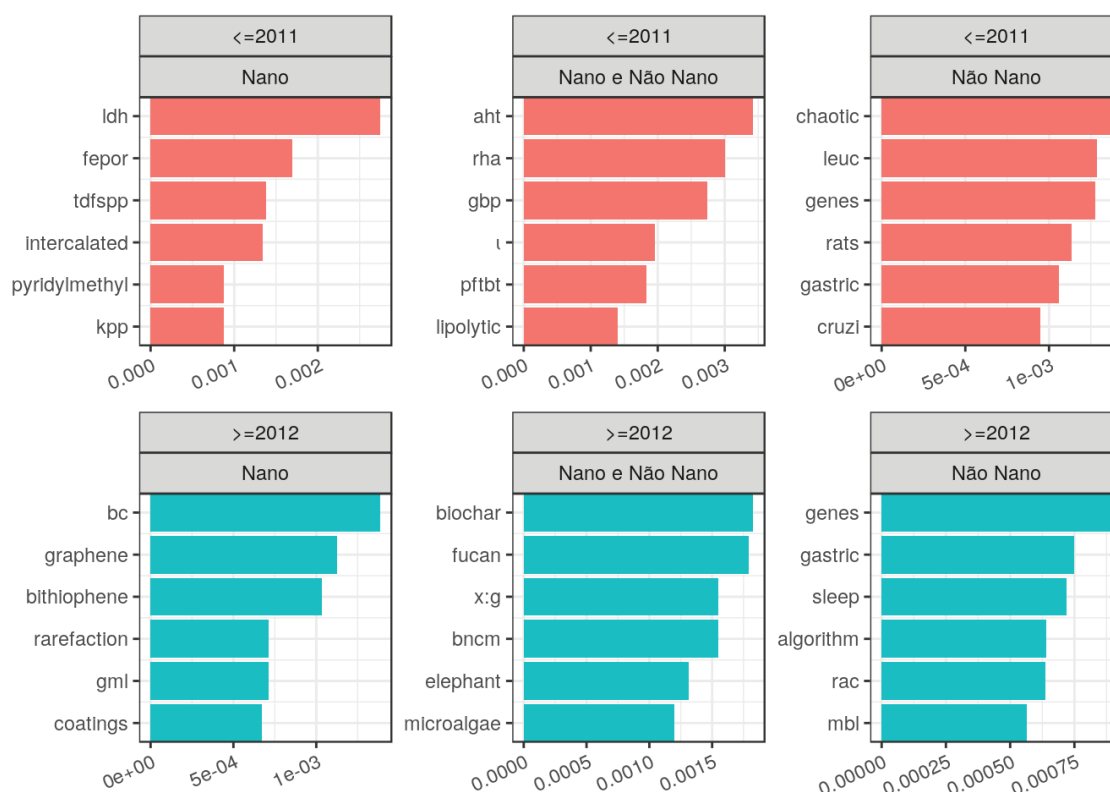
Figura 18: Termos mais frequentes encontrados nos resumos de cada grupo de publicações nos dois períodos do LCNano.



Fonte: o autor.

Para identificar os termos que se destacam pela unicidade em cada período, a Figura 19 apresenta os termos com maiores índices *tf-idf*. No grupo de pesquisadores LCNano, o termo “*ldh*” (sigla para hidróxido duplo em camadas, do inglês *layered double hydroxide*) foi bastante utilizado durante o primeiro período apenas, enquanto que “*bc*” (sigla para celulose bacteriana, do inglês *bacterial cellulose*) é utilizado mais pelo grupo no segundo período apenas. Este termo, “*bc*”, está relacionado à obtenção de nanocelulose a partir da celulose produzida por determinadas classes de bactérias. Nos demais grupos não houve destaque de termos relacionados à NT em cada período particular.

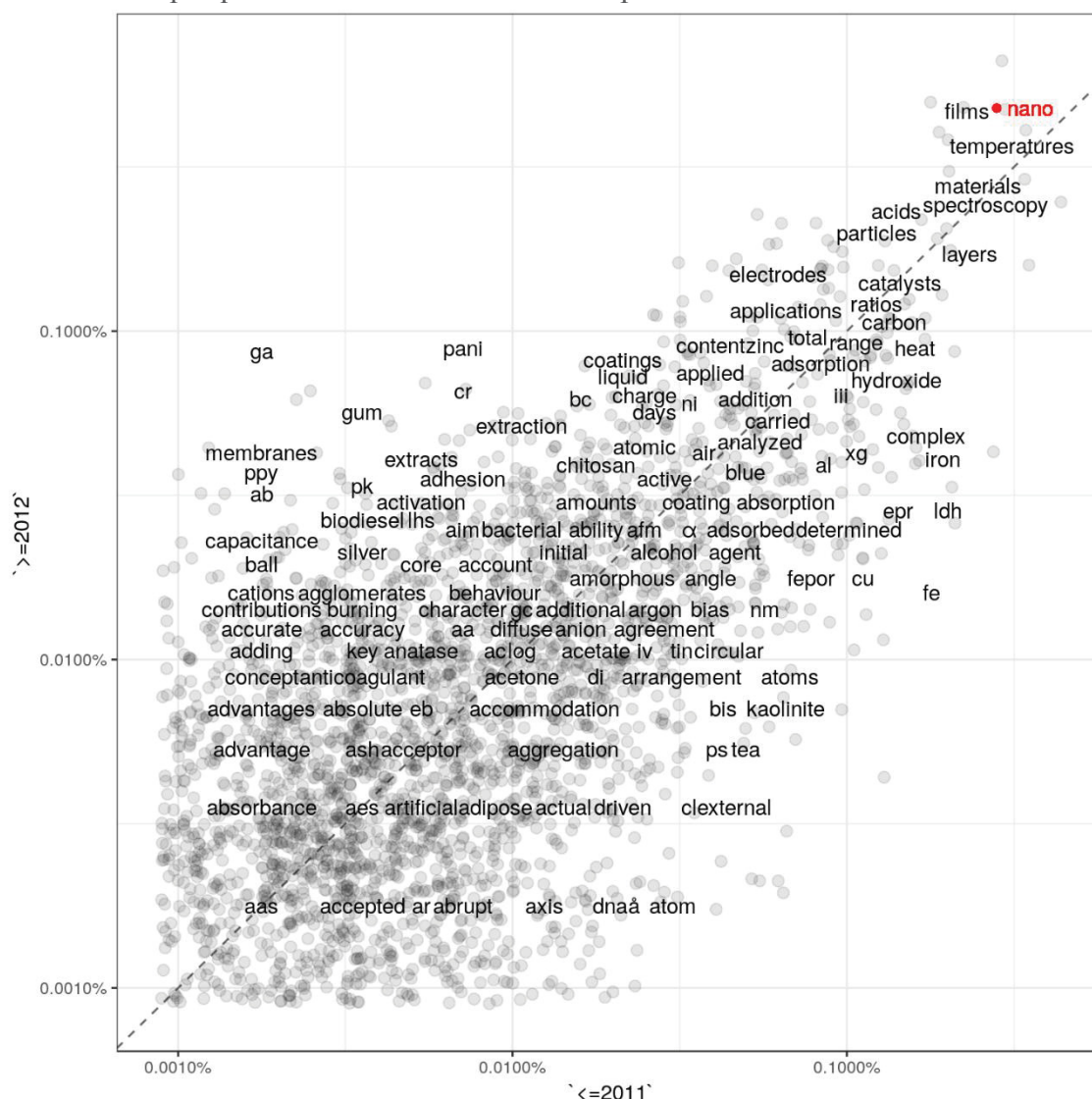
Figura 19: Índice *tf-idf* para cada grupo de produções em cada período analisado.



Fonte: o autor.

Para comparar a atuação das publicações do LCNano nos dois períodos, pode-se comparar a frequência de termos de cada período com um gráfico de dispersão onde: o eixo X mostra a frequência de cada termo no primeiro período e o eixo Y relaciona cada ponto com a frequência no segundo período, conforme mostra a Figura 20. A linha tracejada aponta onde os termos seriam igualmente citados nos dois períodos. Quanto mais afastado da linha central estiver o termo, mais significativo e exclusivo é o termo para aquele período. Percebe-se que os termos “nano” e “films” (destacado em vermelho) são um pouco mais citados no segundo período. O termo “ga” referente ao elemento químico Gálio é muito mais citado durante o segundo período e a sigla “fe” do elemento químico Ferro possui relativamente menos citações.

Figura 20: Gráfico de dispersão para a frequência dos termos em publicações de pesquisadores do LCNano nos dois períodos.



Fonte: o autor.

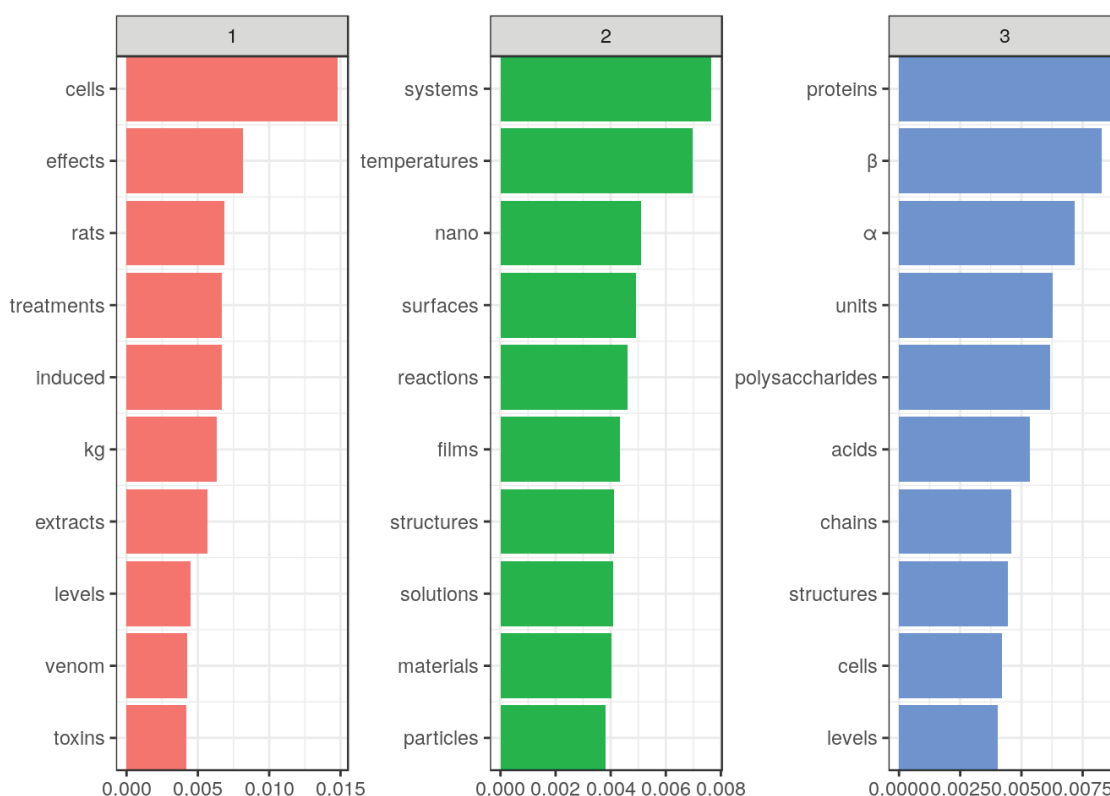
A correlação de Pearson (SILGE e ROBINSON, 2017) pode ser utilizada para calcular a correlação entre as frequências em cada período. O valor da correlação vai de -1 indicando correlação completamente oposta, para 0, indicando que os períodos não são correlacionados, até 1 quando os períodos são completamente correlacionados. **Nos dados investigados nesta seção, a correlação foi de 0.82 (entre 0.81 e 0.83 com 95% de confiança), o que indica uma correlação forte entre os textos das publicações do LCNano nos dois períodos.**

Para estudar o contexto dos termos, a Figura 21 mostra um grafo por período onde: cada nó é uma palavra; uma palavra A é conectada a outra palavra B se A e B aparecem juntas nos textos analisados; e a força da conexão é proporcional ao número de

O próximo passo para investigação dos textos das publicações envolve modelos de tópico. O objetivo é identificar automaticamente quais temas emergiram das publicações e como eles evoluíram ao longo do tempo. O primeiro modelo de tópico foi construído com todas as publicações, considerando cada resumo como um documento independente. Experimentalmente, observamos que um modelo com 3 tópicos foi suficiente para dividir as publicações em grupos relevantes.

A Figura 22 mostra os termos mais relevantes para cada um dos tópicos encontrados. O tópico 1 apresenta termos relevantes à biologia como “cells”, “rats”, “treatments”, “venom” e “toxins”. O tópico 2 apresenta termos relevantes à física e NT como “temperatures”, “nano”, “surfaces”, “films”, “particles”. O tópico 3 possui termos relevantes a áreas como bioquímica por exemplo “proteins”, “polysaccharides”, “chains” e “cells”. Com isso pode-se observar que, considerando os textos contidos dos resumos, as publicações referentes à NT se destacam das áreas relacionadas.

Figura 22: Termos mais relevantes de cada tópico, considerando cada resumo como um documento.

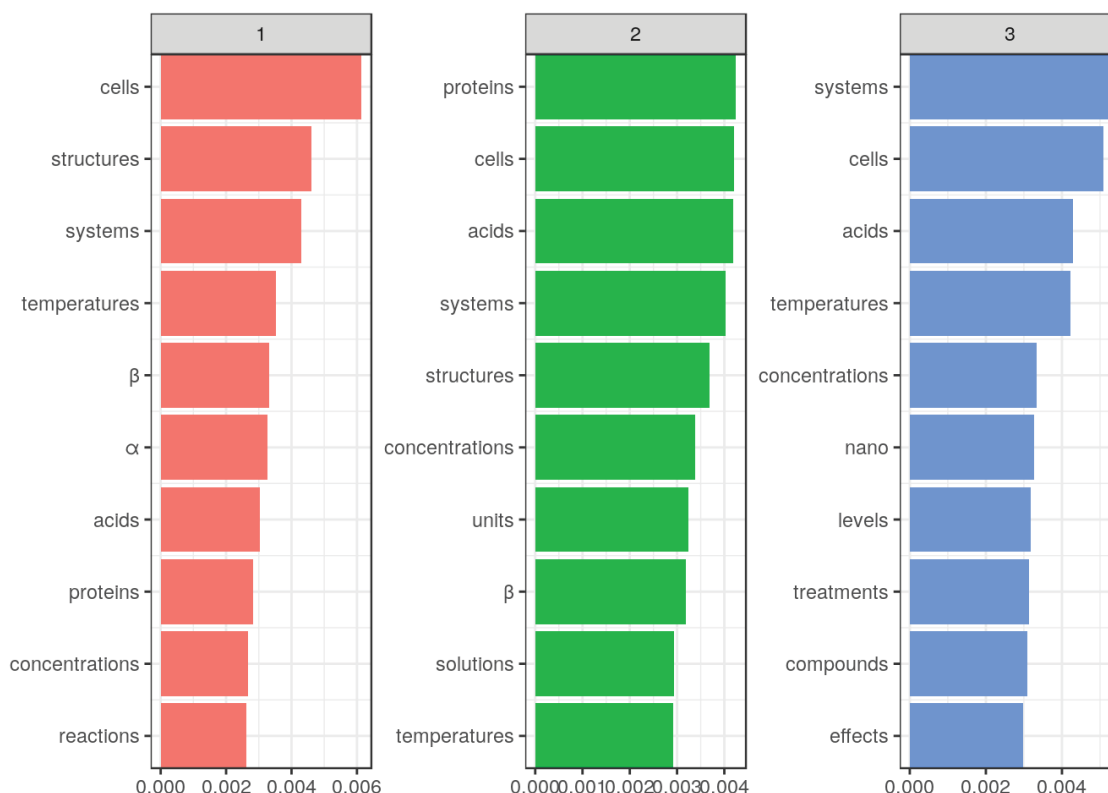


Fonte: o autor.

Para o segundo estudo envolvendo modelos de tópico, consideramos que todos os resumos de um ano fazem parte de um documento. Como existem muitos resumos por

ano, os documentos tornam-se bastante genéricos (envolvendo vários temas) e os tópicos ficam mais similares. Mesmo assim, como observamos na Figura 23, o primeiro e segundo tópico contém termos da física e bioquímica (“cells”, “proteins”, “temperatures”) e o segundo e terceiro tópico possuem termos relevantes a NT (“structures”, “nano”).

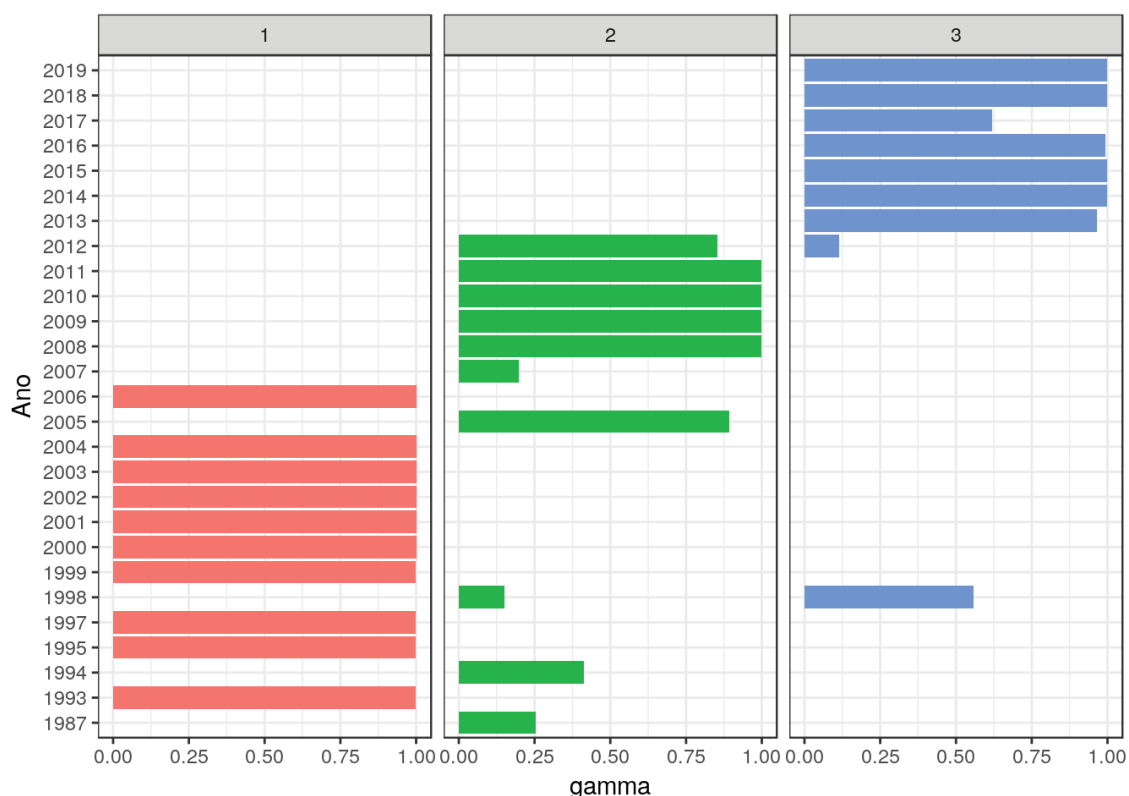
Figura 23: Termos mais relevantes (maior *beta*) de cada tópico, considerando todas as publicações de um ano como um documento.



Fonte: o autor.

Dado o modelo, pode-se analisar a pertinência (*gamma*) dos anos (neste modelo, considerado como documentos) a cada tópico. Documentos com maior pertinência a um tópico tendem a utilizar mais seus termos e mais de um tópico pode ser pertinente a um documento. A Figura 24 mostra a pertinência de cada tópico ao longo dos anos. Observamos que as publicações primariamente mudaram seu foco do tópico 1 para o tópico 2 por volta de 2006 e para o tópico 3 por volta de 2012. Isso mostra que assuntos relacionados a NT tornaram-se relevantes principalmente após o ano 2012.

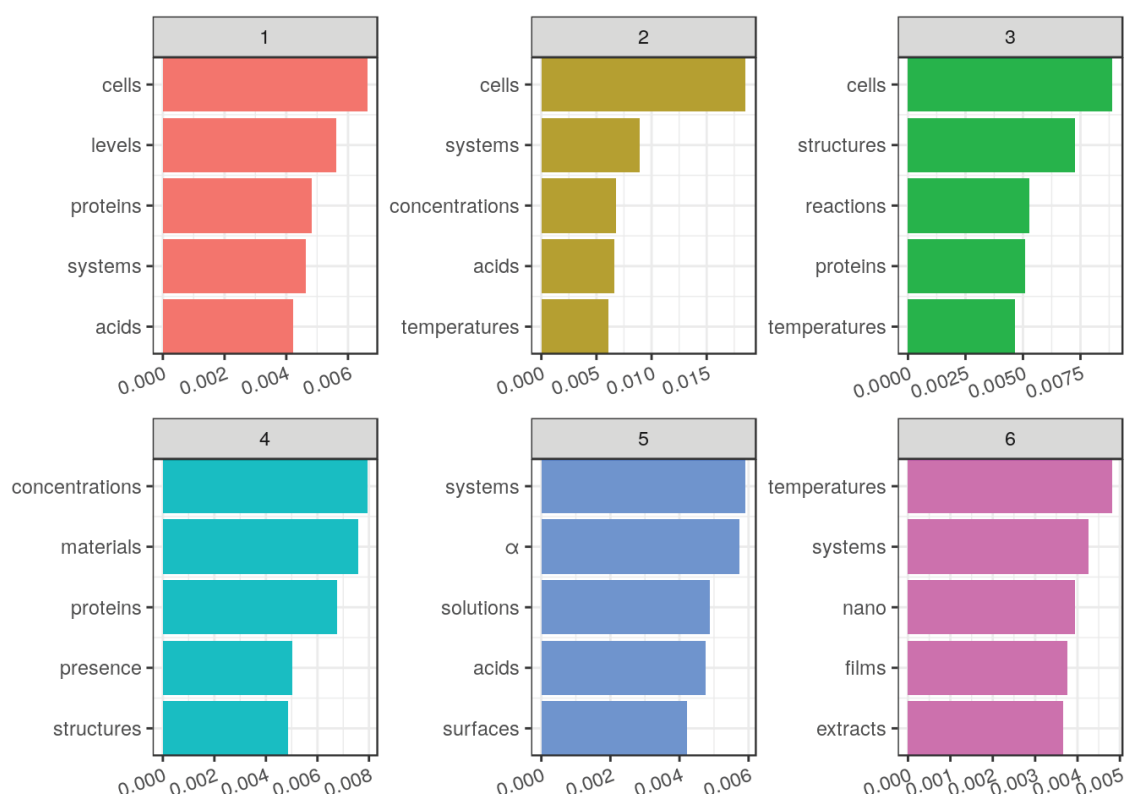
Figura 24: Pertinência de cada tópico ao longo dos anos, considerando todas as publicações de um ano como um documento.



Fonte: o autor.

Ainda outro estudo com modelos de tópicos pode ser feito definindo as publicações de todo um período considerado (≤ 2011 ou ≥ 2012) como um documento. Ainda mais os tópicos ficam mais similares, desta forma construímos um modelo com 6 tópicos para melhor diferenciar cada período. Observamos na Figura 25 que os tópicos 1, 2 e 3 são similares com termos “*cells*” e “*acids*” e “*proteins*” da biologia e bioquímica. Os tópicos 4 e 5 já contém termos como “*materials*”, “*structures*” e “*surfaces*” das áreas de engenharia e materiais. O tópico 6 é o mais relevante para a NT, com termos “*nano*” e “*films*”.

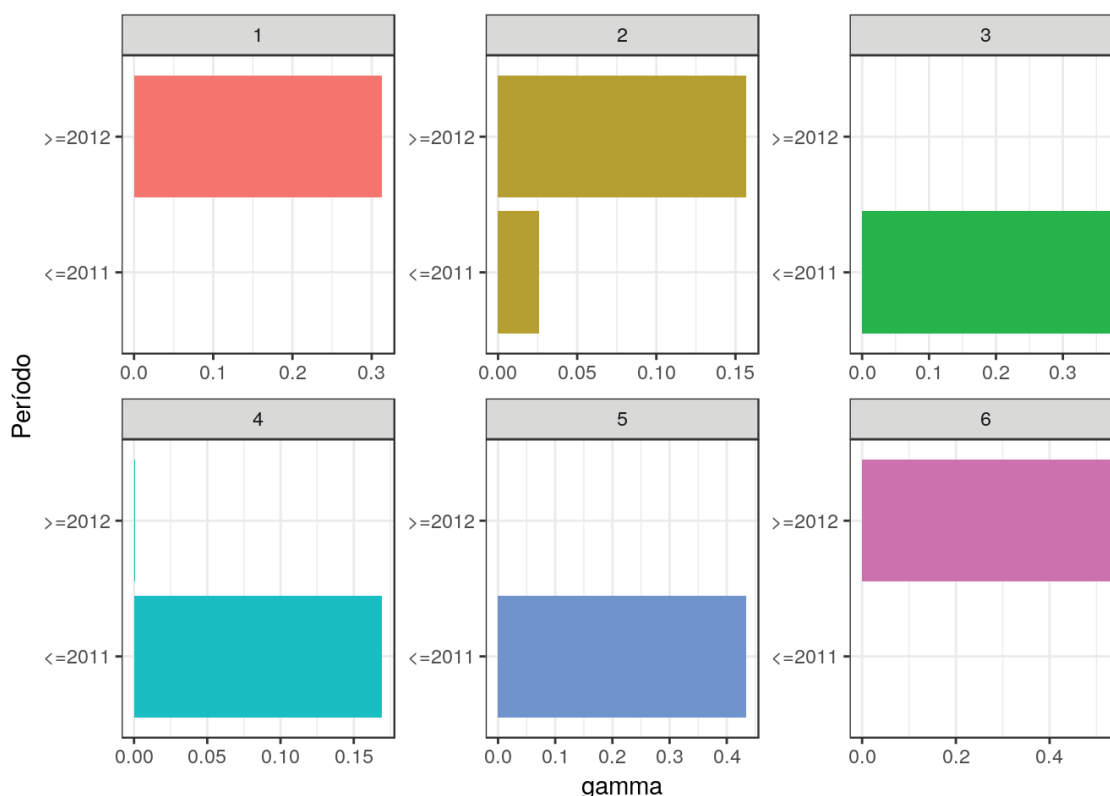
Figura 25: Termos mais relevantes (maior *beta*) de cada tópico, considerando todas as publicações de um ano como um documento.



Fonte: o autor.

A Figura 26 mostra a pertinência dos seis tópicos encontrados para cada período. O modelo mostra que houve uma distinção entre os tópicos nos dois períodos, principalmente onde os tópicos 1, 2 e 6 tornaram-se mais relevantes. **Dessa forma, vemos que o tópico 6 referente a NT tornou-se mais relevante no período após a implantação do LCNano e os termos utilizados são muitas vezes próprios da NT e não envolvem termos de outras áreas como vimos no modelo de tópico por resumos.**

Figura 26: Pertinência dos seis tópicos encontrados para cada período, considerando todas as publicações de um período como um documento.



Fonte: o autor.

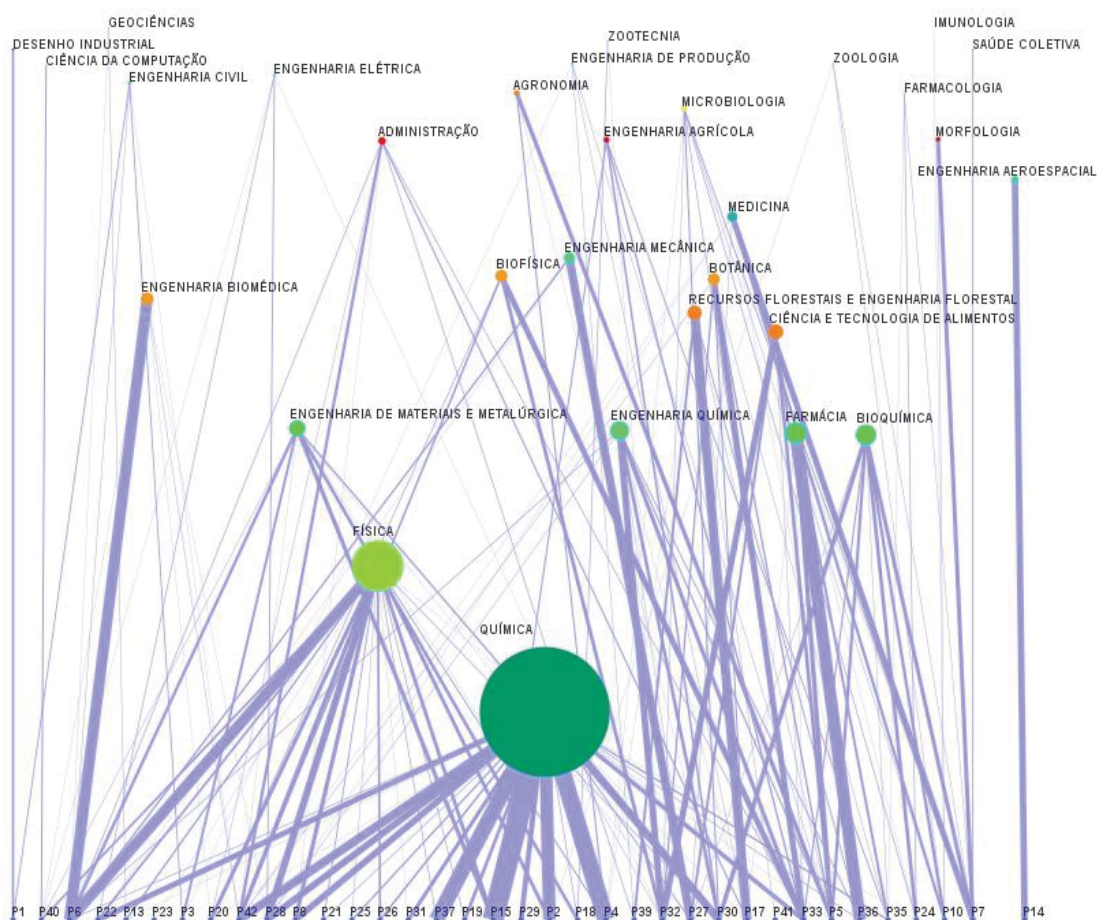
5.2.2.3 Análise sobre as redes de colaboração

As redes de colaboração foram determinadas e analisadas através da identificação de autoria e coautoria no corpus da produção científica (como descrito na metodologia) dos 42 pesquisadores do LCNano. Para cada produção com pelo menos um autor do grupo dos pesquisadores nano foi estabelecida a relação com as respectivas áreas, subáreas e especialidades dos demais autores. Esta matriz foi analisada com o software RedeR para obtenção gráfica da rede de colaboração e suas respectivas áreas, com o propósito de observar se entre os dois períodos analisados houve algum deslocamento da pesquisa, a emergência de áreas nano e se o escopo da pesquisa que envolve áreas da nano foi ampliado com o envolvimento de novas áreas, subáreas e especialidades que não estivesse inicialmente no período anterior ao LCNano. Para melhor visualização com representação de detalhes, todas as figuras e imagens apresentadas nesta seção também estão apresentadas em tamanho maior no Anexo I.

Redes de coautorias (anonimizadas)

A Figura 27 mostra o grafo da relação entre os pesquisadores nano e as áreas de pesquisa que envolveram os demais autores, no conjunto da produção científica no período ≤ 2011 . Esta rede foi obtida aplicando o algoritmo de estrutura hierárquica de rede. Nesta modelagem os pesquisadores estão na parte inferior do grafo e relacionam-se com as áreas dos demais autores de uma produção. O peso do nodo que representa as áreas é proporcional ao número de publicações daquela área. O peso das arestas é proporcional ao total de autores que foram relacionados com a respectiva área.

Figura 27: Rede de colaboração com modelagem hierárquica, período ≤ 2011



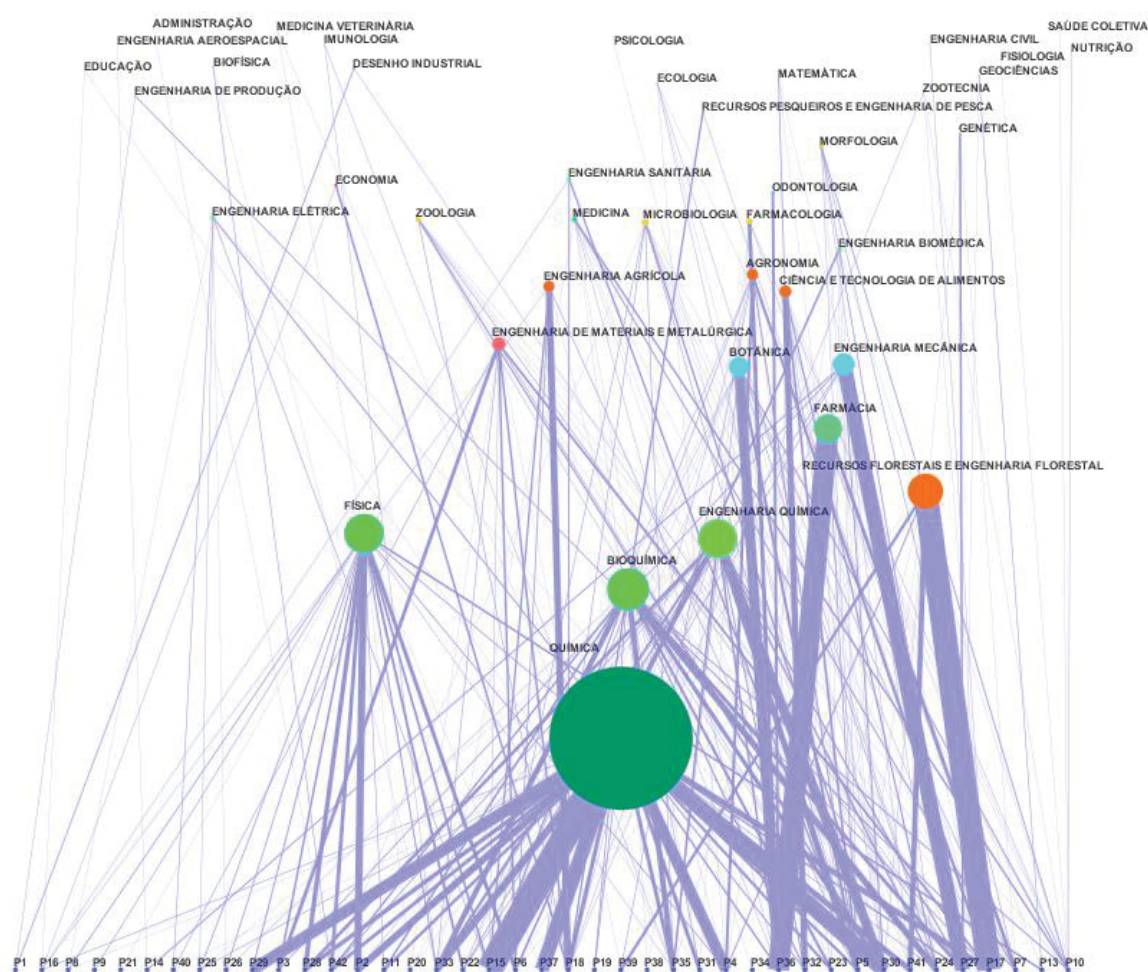
Fonte: o autor.

O grafo mostra que as duas principais áreas da rede são Química e Física, seguidas das áreas de Engenharias Química e de Materiais e Metalurgia, Farmácia e Bioquímica o que é compatível com as principais áreas do grupo de pesquisadores nano. As cores dos nodos da rede servem para identificar aqueles de mesmo peso na rede, ou seja, que

possuem aproximadamente o mesmo total de produções naquela área onde autores do grupo nano possuem coautoria com autores de outras áreas não nano. Pode-se observar a centralidade da área de química, **o que significa que os pesquisadores com autoria de produções nesta área envolvem poucos pesquisadores de outras áreas.**

A Figura 28 apresenta as mesmas definições de topologia da Figura 27, porém aplicada para o período ≥ 2012 .

Figura 28: Rede de colaboração com modelagem hierárquica, período ≥ 2012



Fonte: o autor.

Neste período após 2011 em que a pesquisa foi realizada no contexto do LCNano, ainda predomina a área de química, mas com um certo deslocamento influenciado pelas áreas mais à direita no grafo da rede. Também pode-se observar que a área de física reduz sua representatividade equiparando-se a 6 áreas que emergem como mais representativas. São as áreas de bioquímica, engenharia química, recursos florestais e engenharia florestal, farmácia, engenharia mecânica e botânica. **Isto significa que os mesmos pesquisadores do grupo nano com produções na área de química passam a ampliar sua rede de**

colaboradores envolvendo pesquisadores destas outras áreas. Outro dado significativo é a emergência de outras 12 novas áreas de pesquisa que não existiam no período anterior a 2011, o que demonstra a ampliação do escopo da pesquisa que envolve os pesquisadores do grupo nano.

Redes de áreas/subáreas

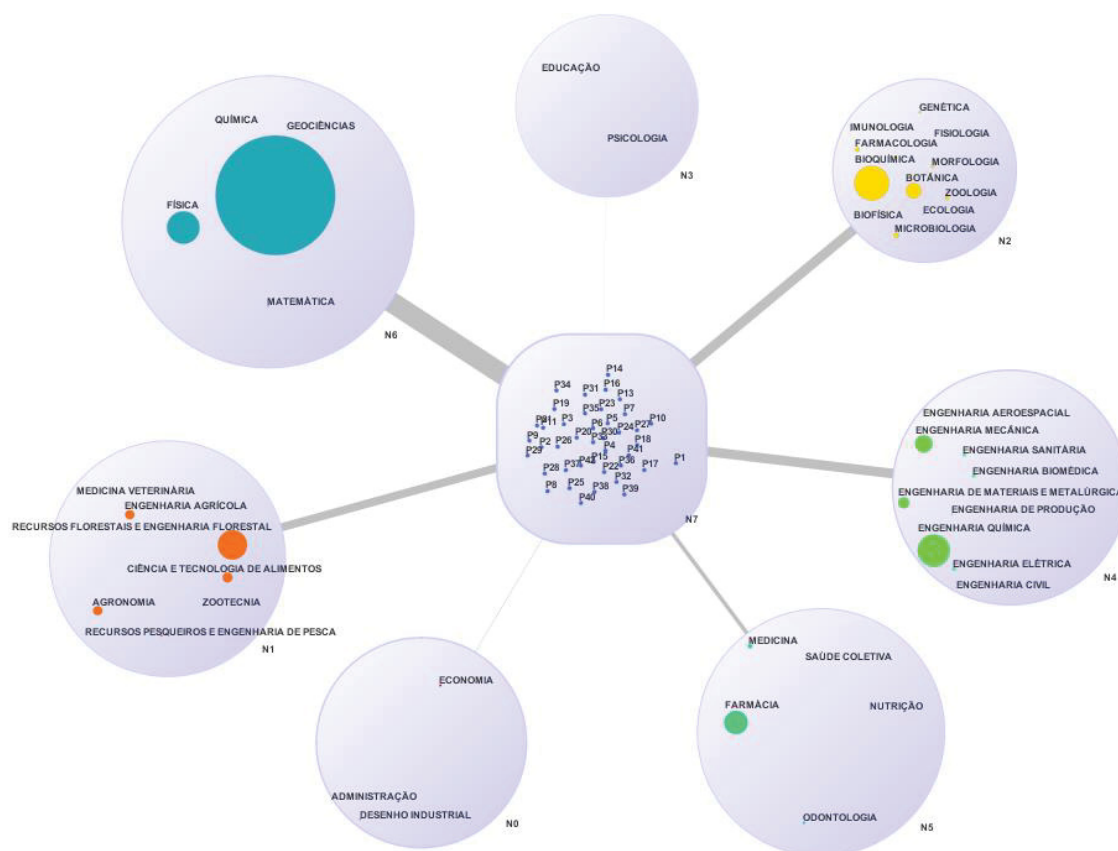
Outra forma de observar a dimensão e diversificação da pesquisa entre esses dois períodos é utilizar a topologia de rede agrupada por grande área das produções que envolvem os pesquisadores do grupo nano. Para uma comparação entre os dois períodos as Figuras 29 e 30 apresentam a rede de colaboração da pesquisa do grupo nano com pesquisadores de outras áreas não nano, agrupadas por grande área, cada uma contendo suas áreas e especialidades.

Figura 29: Rede de colaboração com modelagem agrupada por grande área, período ≤ 2011



Fonte: o autor.

Figura 30: Rede de colaboração com modelagem agrupada por grande área, período ≥ 2012



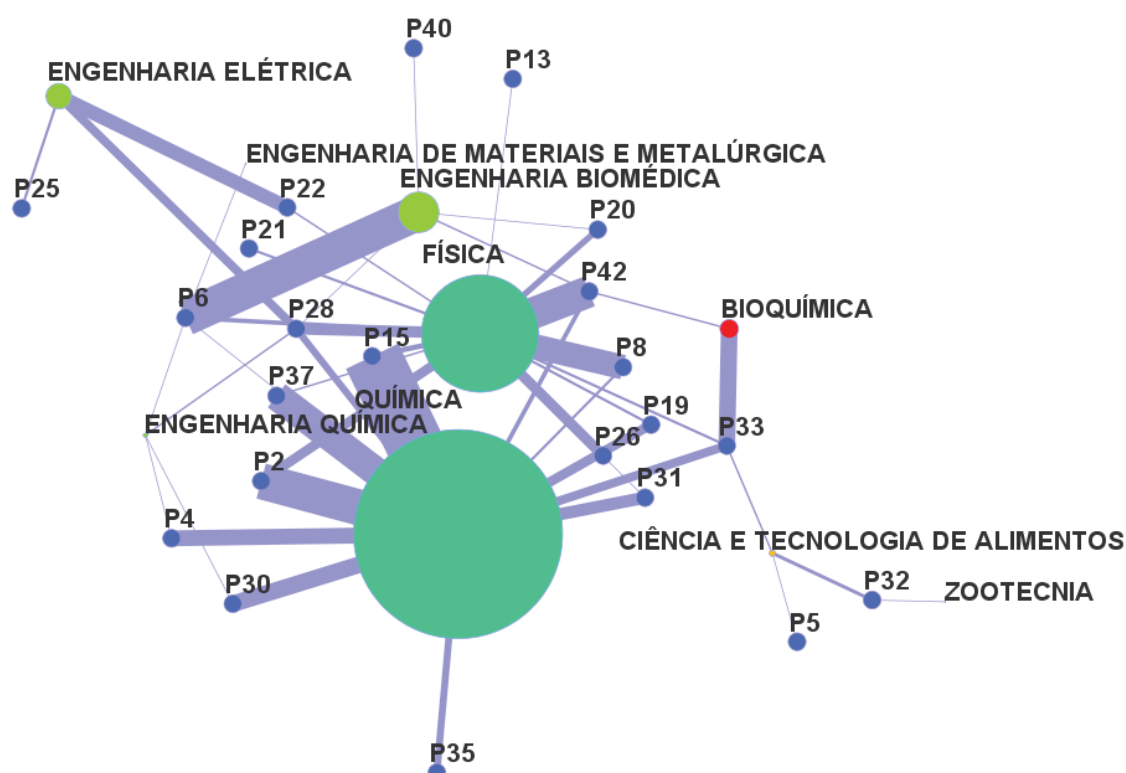
Fonte: o autor.

Nas Figuras 29 e 30 o nó central da rede contém o agrupamento dos pesquisadores do grupo nano, e os demais nós representam o agrupamento por grande área das produções que tenham pelo menos um pesquisador do grupo nano e outros pesquisadores do grupo não nano. O peso das arestas é proporcional ao total de produções do grupo nano com aquela grande área. As subáreas e especialidades estão representadas dentro do agrupamento da respectiva grande área e o peso de cada uma é proporcional ao total de produções deste subconjunto em relação ao total da grande área. **Em todas as grandes áreas pode-se observar uma maior diversidade de subáreas e especialidades relacionadas com as produções da rede do grupo nano, o que implica em mais colaboração do grupo nano com as mesmas.**

Redes de grupos de pesquisa

Os grupos de pesquisa, certificados pelo DGP/CNPq, foram analisados com relação as suas linhas de pesquisa que estivessem voltadas para algum tema da N&N e considerando as produções relativas aos pesquisadores do grupo nano integrantes da equipe do grupo de pesquisa. As Figuras 31 e 32 apresentam a rede de produção dos grupos de pesquisa entre os períodos ≤ 2011 e ≥ 2012 respectivamente.

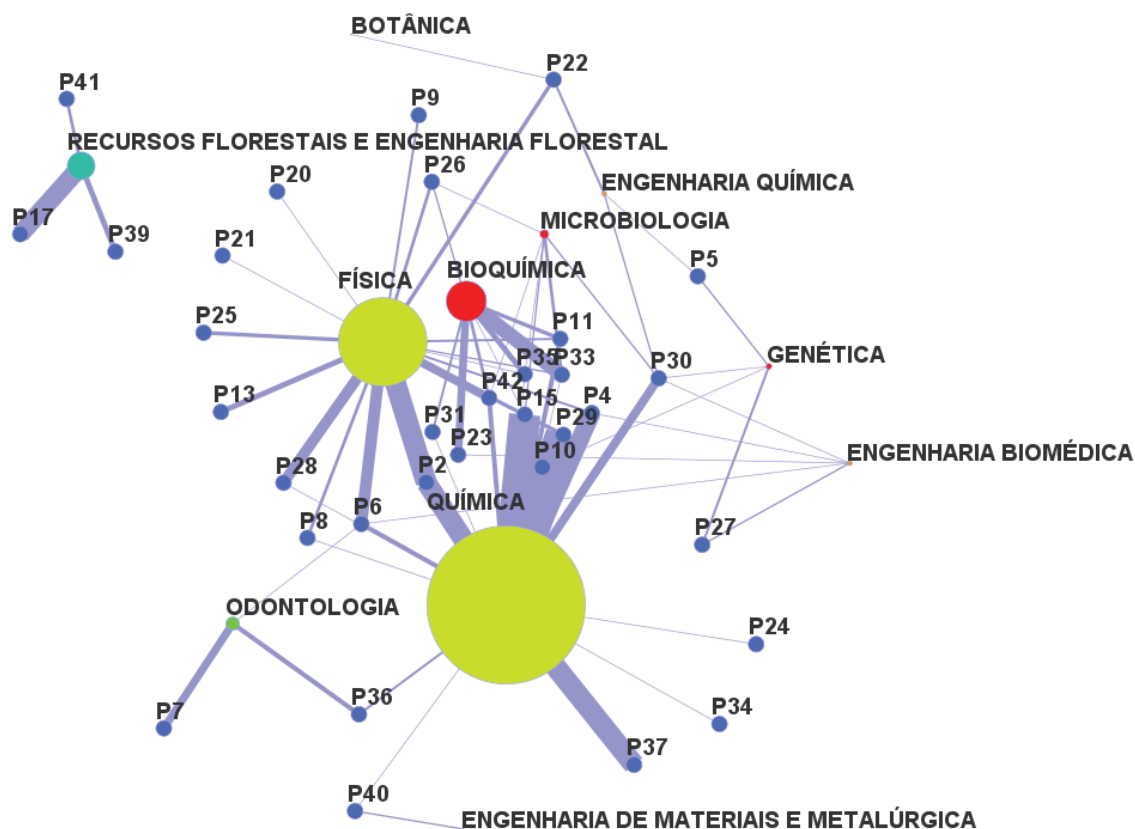
Figura 31: Rede de colaboração de grupos de pesquisa grupo nano, período ≤ 2011



Fonte: o autor.

Os grupos de pesquisa estão concentrados de acordo com a área de suas linhas de pesquisa. As áreas são aquelas das produções em NT do grupo de pesquisa e seu peso é proporcional ao total de produções que contenham pelo menos um dos pesquisadores do grupo nano em conjunto com demais autores do grupo não nano. O peso das arestas é proporcional ao total de produções do respectivo pesquisador para com o respectivo grupo.

Figura 32: Rede de colaboração de grupos de pesquisa grupo nano, período ≥ 2012

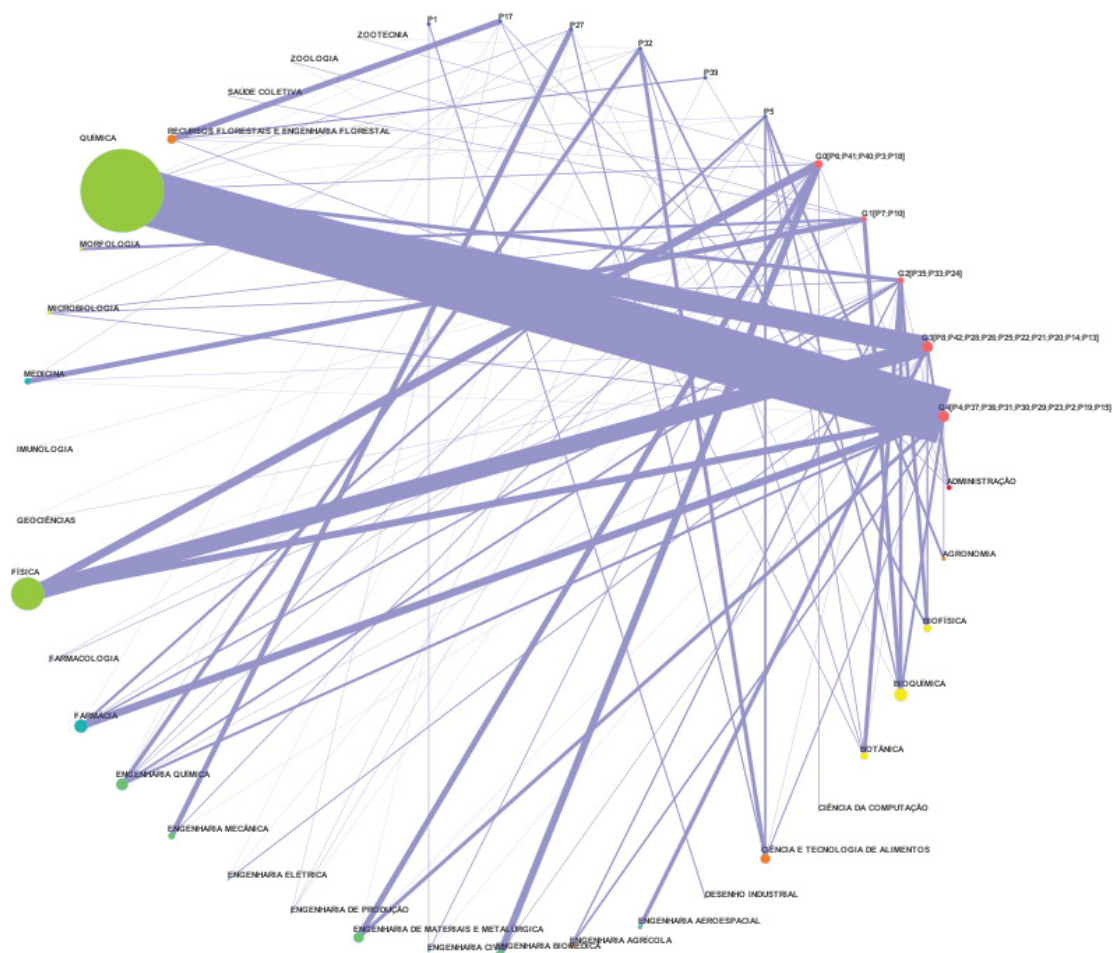


Fonte: o autor.

Comparando os dois períodos pode-se observar que a rede dos grupos de pesquisa reduziu sua atuação em áreas exclusivas da química e da física, em que pese estas duas áreas serem as mais representativas nos dois períodos. Novas áreas de pesquisa surgem no segundo período envolvendo mais pesquisadores tanto do grupo nano como do grupo não nano mostrando uma maior diversidade de áreas que são relacionadas à pesquisa e produção científica da NT para o período ≥ 2012 que ocorre sob a influência do LCNano.

Para analisar e identificar a emergência de novas áreas de pesquisa em NT e sua representatividade em relação à produção científica do LCNano, para o mesmo conjunto de dados utilizado acima foi aplicado ao estudo da rede a topologia de visualização circular. Neste método, os pesquisadores do grupo nano são relacionadas a áreas de pesquisa conforme tenham produções com temas em NT e colaboração de autores do grupo não nano. As Figuras 33 e 34 apresentam a rede de visualização circular para os períodos ≤ 2001 e ≥ 2012 respectivamente.

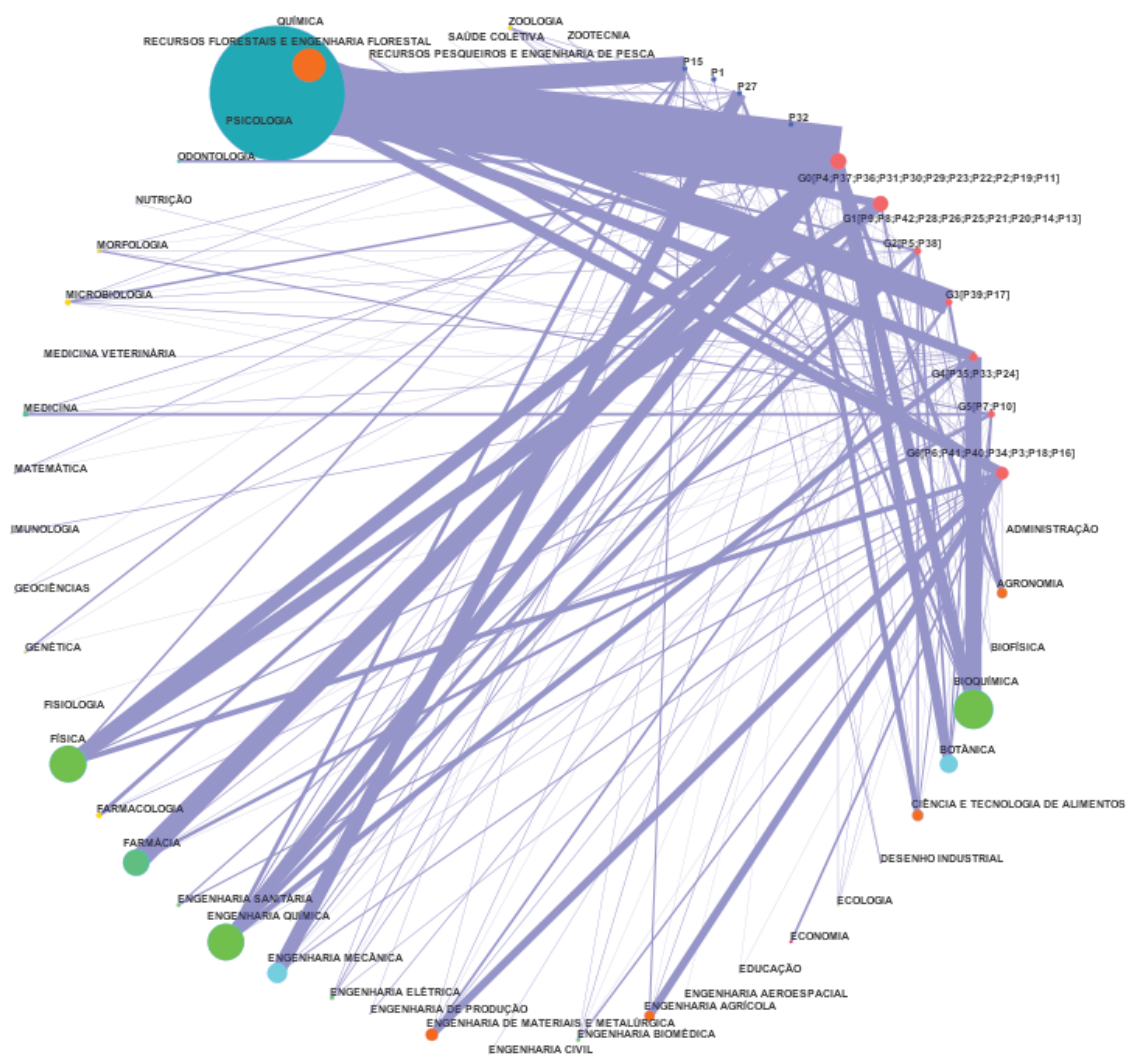
Figura 33: Rede de colaboração topologia circular grupo nano, período ≤ 2011



Fonte: o autor.

Neste grafo pode-se observar a relação das diversas áreas relacionadas à produção dos grupos, e os pesquisadores individuais que não estão relacionados a um dos grupos identificados, mas que são do grupo nano e possuem produção em NT em coautoria com demais pesquisadores do grupo não nano.

Figura 34: Rede de colaboração topologia circular grupo nano, período ≤ 2011



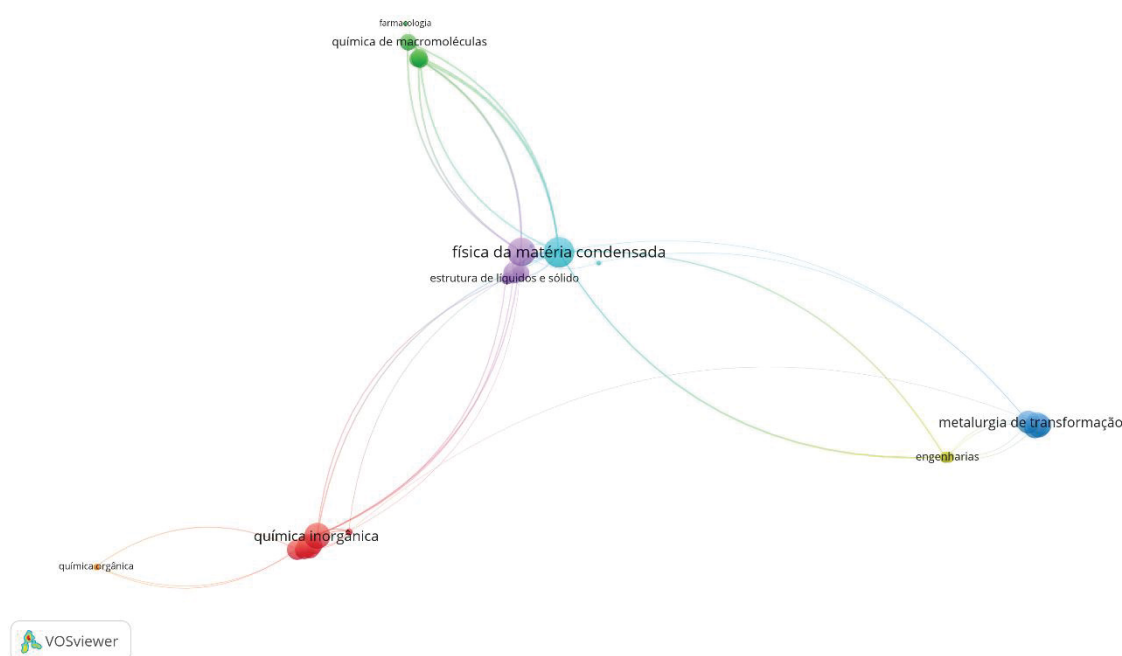
Fonte: o autor.

Comparando este período ≥ 2012 com o anterior pode-se observar significativo deslocamento da pesquisa envolvendo as áreas de química e recursos florestais e engenharia florestal, o que é compatível com a emergência da NT em nanocelulose e nanoquitosana que tiveram expressivos resultados no LCNano neste período ≥ 2012 . Também significativo os deslocamentos da NT envolvendo as áreas de engenharia química, farmácia, bioquímica, botânica, e as evidências de uma maior atuação dos grupos de pesquisa em novas áreas que envolvem a NT como medicina, genética, imunologia, morfologia, nutrição, odontologia, ecologia, engenharia civil dentre outras apresentadas no grafo circular. Estes resultados estão de acordo com as afirmações de Santos Junior (2013), onde a fronteira do desenvolvimento da NT aparece delineada pela convergência tecnológica entre as

biotecnologias, ciências cognitivas e as nanotecnologias tornando-se complementares. Isto pode levar a consolidar a NT como fator chave de um paradigma técnico-econômico, devido ao acúmulo e a continuidade do conhecimento, explicando assim o potencial de mudança paradigmáticas das N&N.

Para analisar a diversificação da pesquisa em NT os dados da produção do grupo nano foram processados para identificar as principais áreas de NT presentes nas produções, comparando-se os dois períodos. As figuras 35 e 36 apresentam a relação desta produção com as principais áreas da NT.

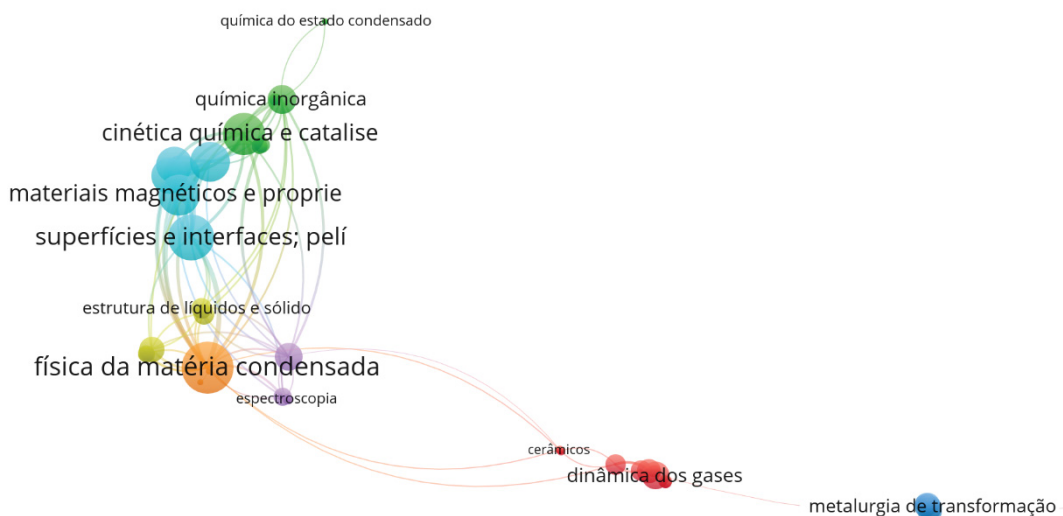
Figura 35: Principais áreas de produção em nano, período ≤ 2011



Fonte: o autor.

No período anterior a implantação do LCNano, ≤ 2011 , os resultados da pesquisa vinculados ao grupo dos pesquisadores nano estava concentrado principalmente nas linhas de pesquisa em física da matéria condensada, química de macromoléculas, metalurgia de transformação e química inorgânica, como mostra a relação do grafo da Figura 35.

Figura 36: Principais áreas de produção em nano, período ≥ 2012



Fonte: o autor.

Pode-se observar que neste período ≥ 2012 a linha de pesquisa em física da matéria condensada perde sua centralidade porque o desenvolvimento da NT passa a contar com as linhas de superfícies e interfaces, películas e filmes, materiais magnéticos e propriedade físicas da matéria, cinética química e catálise, dinâmica dos gases e espectroscopia. Essas novas áreas são compatíveis com as competências identificadas para o LCNano em temas da NT como síntese e caracterização de nanopartículas e no desenvolvimento de materiais nanoestruturados, onde novas áreas passam a ter influência. Esta emergência de novas áreas do conhecimento tanto pode estar relacionada a um caráter evolucionário das linhas de pesquisa, como também a um caráter revolucionário relativo ao desenvolvimento da NT conforme visto por Fernandes e Filgueiras (2008).

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O objetivo desta tese foi o de investigar em que medida a UFPR incorporou as metas contidas na IBN para a implementação do SisNANO e avaliar a criação, dentro do LCNano, de uma nova ordem de pesquisa em rede capaz de influenciar a produção científica em NT, estimulada pelas características inter e multidisciplinares das questões da NT apoiadas na relação universidade-empresa e na transferência de tecnologia. Para isto foi analisada a implementação do SisNANO na UFPR através da criação do LCNano, e se este, na sua implementação na UFPR, atingiu as metas propostas pelo SisNANO.

Nesse sentido foi necessário revisar a literatura quanto aos tópicos aplicados as questões de políticas de CT&I, e em particular na política de NT no Brasil, com a emergência da nanotecnologia no cenário global e no Brasil. Neste contexto destaca a discussão na literatura sobre a dinâmica da pesquisa e da inovação no cenário de um novo paradigma tecnológico em torno da NT e outras tecnologias convergentes. Para alcançar objetivos propostos na política do SisNANO, como a relação universidade-empresa, entra em cena a necessidade da reorganização da pesquisa e o papel dos laboratórios em uma dimensão que busca ampliar as redes de colaboração científica para uma nova ordem inter e multidisciplinar voltada à inovação.

Em concordância com o objetivo central da política de nanotecnologia de promover a competitividade nacional em produtos e processos baseados em nanotecnologia, o SisNANO foi o programa medular da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia lançada em 2012, e teve como um dos seus pilares o caráter multiusuário, para disponibilizar uma infraestrutura de pesquisa aos diferentes centros de pesquisa e universidades, como também à iniciativa privada, incentivando a interação universidade-empresa.

As universidades, especificamente os laboratórios de nanotecnologia, possuem equipamentos de custo elevado e altamente precisos devendo ser operados por pessoas muito qualificadas. Aliado ao fato que tais investimentos precisam ser mantidos, renovados e em muitos casos ampliados, o custo de investimento e operação tornam-se cada vez mais altos. O caráter multiusuário desses equipamentos e o tempo ocioso em relação à P&D interna da universidade podem ser transformados em ações capazes de captar recursos para suporte a esses investimentos. Este cenário levou a uma reorganização das universidades, tanto em sua estrutura orgânica como em seus mecanismos de prática da P&D, sendo agora mais voltadas para a inovação, o que vai

exigir uma interação e parceria com as empresas, conforme demonstrado por Etzkowitz (2004), e Motoyama et al (2004). A interdisciplinaridade da NT passou a exigir do laboratório uma maior permeabilidade de sua pesquisa com outras áreas de conhecimento, refletindo em sua produção científica o caráter de um *hub* tecnológico, em concordância com as teorias de Hage (2001), Gertner (2012) e aderente aos conceitos apresentados por Battard (2012). Este foi o principal efeito da política pública do SisNANO para o LCNano e a UFPR, tal como já evidenciado pelos trabalhos de Heller (2006) e Ponomariov (2013), onde o eixo central das questões de P&D para a nanotecnologia está sustentado pela formação de redes e de recursos humanos em N&N, laboratórios multiusuários, ampliando o capital institucional e humano aliados a um apelo para a relação universidade empresa.

No período de 2012 a 2018, o LCNano atuou fortemente no estímulo e fomento para o avanço científico e tecnológico ligado às propriedades da matéria na escala manométrica, tanto no âmbito local da universidade quanto através das redes de pesquisa regionais, nacionais e internacionais. O desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada permitiu a consolidação da sua rede inicial de laboratórios, que proporcionou a aglutinação de diversas especialidades em N&N, em prol do desenvolvimento tecnológico. Essa união de esforços foi capaz de agir como suporte para expandir a capacidade científica da UFPR tanto no Sistema de Pós-Graduação no Brasil, quanto no setor empresarial regional e nacional. Esta reorganização da pesquisa e de suas redes está em consonância às teorias apresentadas por Salles-Filho et al (2000) e Etzkowitz (2004), e vai de encontro com a argumentação de que o conhecimento científico constitui um dos pilares que amparam o desenvolvimento industrial e um insumo significativo para o desenvolvimento econômico (Etzkowitz e Zhou, 2017).

No contexto da política do SisNANO, o LCNano exerceu papel de destaque para a consolidação e ampliação da pesquisa em nanotecnologia na UFPR, contribuindo para o desenvolvimento da ciência e tecnologia e inovação nas áreas de: nanopartículas, instrumentação em nanociência e nanotecnologia, processos em nanoeletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanosensores, matérias nanoestruturados dentre outras. Esta contribuição do LCNano está apoiada em suas ações de ampliação da infraestrutura com aquisição de novos equipamentos e melhoria de outros existentes, nas interações de seus grupos de pesquisa com outras instituições, nos contratos com empresas de base tecnológica, nos convênios nacionais e internacionais com outras instituições de pesquisa em N&N e na formação de

novos alunos de mestrado em doutorado em áreas relativas a NT. Foi esta estrutura interna do LCNano que pode dar êxito à universidade na interação, geração e transferência do conhecimento, oferecendo melhor gerenciamento e capacidade de retenção das relações científicas criadas, possibilitando uma maior identidade como universidade empreendedora, o que está de acordo com os estudos de Roux e Wolff (2009).

Entretanto, em função da sazonalidade e escassez de recursos financeiros aportados, o LCNANO atualizou parcialmente a sua infraestrutura para as pesquisas básicas e aplicadas voltadas a nanociência, não atingindo todas as áreas que se fizeram necessárias, bem como não foi capaz de atender de forma ampla, as necessidades de manutenção dos equipamentos dos laboratórios multiusuários, tal como confirmaram os pesquisadores entrevistados em este estudo. Entretanto, os problemas aqui identificados não são novos e há décadas fazem parte do cenário da inovação e da relação universidade-empresa, com efeitos restritivos das mais variadas ordens, como já demonstrado por Ipiranga, Freitas e Paiva (2010) e Bevilacqua (2014).

Apesar destas restrições, houve o desenvolvimento de algumas técnicas e processos de síntese e nanofabricação, pelo LCNano, o que, em parte, contribuiu para o fortalecimento da nanotecnologia na UFPR, nas empresas e no Estado do Paraná. Conforme proposto por Sant’Ana (2015) este tipo de esforço remete à vontade dos atores de transpor dificuldades e proceder a troca de experiências.

Na prospecção de parcerias com empresas do setor industrial, o LCNANO trabalhou estreitamente com o Sistema da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP), Institutos Senai de Inovação (ISI), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e Instituto Euvaldo Lodi (IEL) através de reuniões periódicas, palestras e visitas as empresas com apresentação das potencialidades e oportunidades de parcerias para o desenvolvimento de produtos e processos em NT buscando, sempre que possível, a inovação. A partir de 2013, através do I *Roadshow* da Rede de Pesquisa Industrial Aplicada, em parceria FIEP e LCNano, mais de 70 projetos de possíveis parcerias entre indústria, Senai no Paraná e instituições de ciência e tecnologia foram prospectados. Este trabalho coordenado segue as recomendações de De Souza, Filippo e Casado (2015) da necessidade da integração de esforços entre academia, governo e empresas.

Os Observatórios SESI/SENAI/IEL, em parceria com a equipe científica do LCNano, realizaram o primeiro estudo prospectivo “Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense” com vistas a traçar para os setores portadores de futuro os mapas

dos caminhos a serem percorridos em direção ao futuro industrial sustentável do Estado do Paraná. Ao longo da realização dos estudos prospectivos foram identificados alguns fatores que dificultam o pleno desenvolvimento da indústria paranaense, dentre eles o baixo nível de interação entre representantes do setor produtivo e das universidades/centros de pesquisa paranaenses. Esta primeira experiência está sendo aplicada como base para sua segunda versão, iniciada em final de 2018, com vistas ao contribuir com o desenho do futuro desejado para as Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense – 2031.

No atendimento aos seus objetivos específicos todas as ações propostas, durante o período de 2012 a 2018, foram realizadas praticamente em sua totalidade. Com exceção da certificação dos laboratórios com o IMETRO que não foi realizada devido à não obtenção dos recursos financeiros que estavam inicialmente previstos para repasse pelo SisNANO. No tocante ao aumento da competitividade industrial o LCNano participou da formulação do Plano estadual de nanotecnologia em parcerias com as Instituições de Ensino e Pesquisa do Estado do Paraná, Fundação Araucária e a Federação das Indústrias FIEP e SENAI. Criou ambientes e mecanismos para a troca de conhecimentos entre a academia e as empresas através de Workshop, reuniões mensais, dentre outros, e capacitou a indústria do Estado do Paraná com novas plataformas tecnológicas em NT.

Com relação a infraestrutura do laboratório, esta foi disponibilizada para serviços à comunidade científica e para as empresas, contribuindo para ampliar a capacidade de inovação do estado do Paraná. Foram submetidas 30 propostas técnicas de empresas, sendo 29 executadas. Isto resultou em 12 produções com propriedade intelectual, abrangendo patente, modelo de utilidade e registro depositados no Instituto Nacional de Propriedade Industrial, e 8 novos produtos e processos lançados no mercado. Está em fase final de construção o prédio do Laboratório de Materiais e Nanomateriais que será destinado a nanofabricação. São aproximadamente 4.000 m² de área construída para laboratórios, no campus Politécnico da UFPR, com previsão de inauguração para dezembro de 2019.

Criou competências, implantou e consolidou as facilidades nas técnicas de caracterização que oferecem suporte a pesquisa e a inovação tecnológica nas suas principais áreas: nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência, nanotecnologia, processos em nanoeletrônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas, nanobioteχνologia, em consonância com os objetivos do SisNANO. Para isto formou, capacitou e fixou, na UFPR, recursos

humanos capazes de dar suporte às necessidades de caracterização em nanociências, nanobio e nanotecnologia. Desenvolveu programas de cooperação internacional, em particular junto aos países Iberoamericanos e da União Europeia, promovendo a educação nessas áreas e sua divulgação. Promoveu ações integradas para que o Estado do Paraná tivesse uma estrutura de avaliação e monitoramento dos impactos da nanotecnologia no meio ambiente e nos seres humanos.

Com o apoio do SisNANO, o LCNano da UFPR emergiu no estado do Paraná, como o laboratório de referência em N&N na síntese de nanopartículas e materiais nanoestruturados, e na caracterização de sistemas nanométrico. Nesse contexto desempenha papel central na composição de uma plataforma que deverá permitir, a curto prazo, o desenvolvimento de nanomateriais e de produtos nanotecnológicos no Estado do Paraná e no MERCOSUL, conforme avaliaram os pesquisadores do LCNano entrevistados.

Contribuíram para esta referência regional do LCNano, a elevação da competitividade científica institucional pela igualdade de condições experimentais com outros laboratórios líderes no cenário internacional, e o desenvolvimento de inovações em áreas estratégicas para o estado do Paraná e para o país, que proporcionou a oferta, baseada em modelos como o uso de materiais lignocelulósicos e de dispositivos nanoestruturados, de soluções tecnológicas aplicadas na produção de bioenergia, na ampliação da capacidade de transformar a energia solar em eletricidade e na inserção de nanocatalisadores no desenvolvimento de combustíveis renováveis. O resultado deste aprendizado interativo e inovador aliado a uma nova estrutura para coordenar essa interação foi capaz de criar novas estratégias para articular ensino, pesquisa e extensão com a sociedade, e está apoiado nas proposições de Clarc (2006) e Audy (2006).

Estes resultados obtidos sugerem que o LCNano trouxe mais interdisciplinaridade para a pesquisa em N&N pois no período pós implantação do laboratório, a partir de 2012, a produção científica do conjunto de seus pesquisadores migra das áreas mais específicas, próximas das áreas de formação do pesquisador, para subáreas e especialidades que envolvem outras áreas. Emergem novos tópicos de pesquisa em N&N e a rede científica entre os pesquisadores torna-se mais multidisciplinar. Isto está de acordo ao que propõe Battard (2012), em que para a NT, a sua multi e interdisciplinaridade encorajam, reforçam e ampliam o conhecimento, como também demonstram que na NT a inovação cada vez mais requer equipes

multidisciplinares, reforçando a afirmativa que inovar sozinho é quase impossível (BEAUDRY e ALLAOUI, 2012).

O LCNano foi criado tendo em vista a possibilidade de captar novos recursos, tanto de fomento público como de empresas do setor privado, reforçando a RUE. Apesar da relação universidade-empresa constituída a partir do laboratório, incluindo prestação de serviços e transferência tecnologicamente os contratos de parcerias assinados com 29 empresas, ainda não é possível afirmar que esta RUE foi capaz de estimular, para o LCNano, a produção em NT ou ter impactos na inovação e difusão tecnológica. Também não criou, até o momento, uma dinâmica de captação de recursos externos significativos. Os valores captados destas empresas cobriram aproximadamente 50% do total de recursos de custeio, de 2012 a 2018, mas não houve captação de recursos privados destinados a investimentos. Isto pode estar relacionado ao curto período de tempo observado, a partir de 2012, e que pode ter sido insuficiente para que novos resultados da pesquisa estejam prontos a serem publicados e transferidos.

Apesar das universidades serem consideradas importantes agentes para mudanças tecnológicas constituindo-se em fontes para as empresas buscarem seu conhecimento inicial e competências (LIBAERS, MEYER e GEUNA, 2006), o cenário encontrado no LCNano com novas ferramentas de governança para explorar esse potencial sinérgico da RUE (PONOMARIOV, 2013), ainda não foi capaz de proporcionar novos investimentos e vantagens financeiras ao laboratório. Mesmo sem estas vantagens financeiras, as 18 patentes depositadas pelos pesquisadores do LCNano, entre 2012 a 2018, sugere que a conformação desse ambiente está de acordo com a teoria que a introdução de novas formas de pesquisa cooperada entre firmas e universidades e laboratórios federais, incluindo o uso compartilhado de infraestrutura de pesquisa, e o intercâmbio de pesquisadores das duas partes, estimulam as patentes e o financiamento privado da P&D, sugerindo ainda que o esforço conjunto de uma sólida e mais extensa relação universidade-empresa são requeridos para o sucesso da transferência de tecnologia. (ADAMS, CHIANG e JENSEN, 2003). Assim as atividades de pesquisa e serviços prestados pelos laboratórios das universidades, ganham novos contornos e podem contribuir para ampliar a RUE, proporcionando mútuos benefícios oferecendo uma alternativa eficaz para as empresas promoverem a inovação e para as universidades obterem fontes complementares de recurso para a pesquisa tal como proposto no modelo da triple helice (ETZKOWITZ, 2004).

Por outro lado, os dados sugerem que o LCNano é um ambiente favorável para o desenvolvimento da N&N na UFPR, estimulando a formação de redes de P&D e ampliando o escopo da pesquisa em NT, o que refletiu na emergência de novos tópicos na produção científica pós laboratório e em uma maior participação de pesquisadores não vinculados ao laboratório nas questões da nanotecnologia. Este resultado está de acordo com a proposição que as tecnologias inovadoras, como é o caso da NT, geralmente aparecem da combinação de múltiplas especialidades, habilidades e conhecimentos que são incitados pela colaboração interorganizacional através das atividades de pesquisa dos seus laboratórios (HAGE, 2011). O que é reforçado por Etzkowitz e Zhou (2017), ao afirmarem que o conhecimento desenvolvido na Universidade é para ser difundido na sociedade, seja pelo desenvolvimento de capacidades internas para a transferência de tecnologia e comercialização de pesquisa ou desempenhando papel colaborativo com negócios governamentais e sociedade civil.

Ao confrontar os dados com o inicialmente proposto nas hipóteses desta tese, onde:

H₁: Em função da convergência, interdisciplinaridade e multidisciplinaridade do LCNano, existe uma correlação positiva, ampliada, entre a produção científica e coautoria na pesquisa da UFPR nas áreas que integram o LCNano: a inovação e difusão tecnológicas resultantes da pesquisa na UFPR têm sido estimuladas pela relação universidade-empresa (RUE) que, no contexto da NT, demanda a interação entre várias áreas científico-tecnológicas. Nesse sentido, as características e interações do LCNano como nodo de uma rede de inovação no contexto da RUE (vinculação com as empresas, P&D, consultoria, laboratórios compartilhados, coprodução) devem ser contempladas.

H₂: Esta ampliação da pesquisa em rede nos setores integrantes do LCNano tem as características da emergência de um *Hub* tecnológico para a UFPR: o LCNano constituiu na UFPR um **ambiente favorável à** formação de **redes** de P&D e à produção científica em geral.

Podemos concluir que estes resultados comprovam a hipótese H1. Os dados também sugerem, ainda que de forma incipiente, o LCNano apresenta as características de um *Hub* tecnológico na UFPR, conforme descrito por Battard (2012). Estabelecer laboratórios como nanocentros nas universidades tem efeitos positivos na produção e comercialização da NT e constitui uma ponte entre a pesquisa, o conhecimento desenvolvido e a comercialização tecnológica, ampliando a difusão do conhecimento. E podem alterar o foco e a quantidade da pesquisa na universidade (PONOMARIOV,

2013). Esta conclusão surge em decorrência que dado o caráter interdisciplinar da NT, este cenário de amplitude do desenvolvimento da N&N e da RUE influenciam de forma positiva e significativa a produção científica e patentes, em diversas outras áreas de ciência na academia, ampliando o escopo do conhecimento gerado e tornando mais eficiente a RUE, o que comprova parcialmente a hipótese H2.

Estes resultados depreendidos também são corroborados pela percepção da maioria dos pesquisadores entrevistados, ao afirmarem que o LCNano trouxe mais interdisciplinaridade à pesquisa em nanotecnologia na UFPR. Segundo estes, os pesquisadores puderam encontrar parceiros que antes não sabiam que existiam sob o mesmo teto, e esse reconhecimento de necessidades mutuas e possibilidade de parceria interna gerou uma nova dinâmica para a pesquisa em NT na UFPR. Porém alguns pesquisadores, 20% dos entrevistados, ressaltam que apesar de condições favoráveis do LCNano para encontrar novas parcerias, este não é um processo simples nem rápido, e que ainda não se pode observar significativas mudanças na dinâmica da pesquisa em NT.

Os resultados da implantação do laboratório evidenciam a relevância da pesquisa em NT para resolver problemas que se apresentam na sociedade, como impactos ambientais relacionados às questões da disponibilidade e consumo de água, das energias renováveis oriundas de resíduos, células solares e biogás. Nas áreas de saúde e nutrição novas NT foram obtidas com nanoquitosana e nanocelulose na conservação de frutas e alimentos e no desenvolvimento de bebidas funcionais. Tais resultados foram capazes de elevar a UFPR a referência regional e nacional em segmentos das áreas de nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas.

Apesar disto, o cenário atual não é favorável. A sustentabilidade e a capacidade de atingir as metas da política do SisNANO, são restringidas pelo congelamento de recursos e ausência de normativas que auxiliem a universidade em buscar novas fontes de financiamento. Com a total ausência de novos recursos aportados, há uma tendência de retroceder alguns avanços da NT na UFPR. Esta incapacidade de expansão de recursos e a morosidade normativa acarreta em menor agilidade e perda de competitividade afetando diretamente a UFPR e o LCNano exatamente como demonstrado nos estudos de Ipiranga, Freitas e Paiva (2010). O LCNano existirá como organização e nas atividades que se comprometeu a realizar até agora, porém a parceria científica interna e externa com empresas poderá continuar somente de maneira a terminar os compromissos assumidos. Isto porque a médio prazo a paralisação de recursos limitará novas iniciativas,

e mais grave, se nada mudar, em uma próxima versão do SisNANO talvez haja menos pesquisadores engajados com o programa, pois, não estão vendo o programa como longo ou profissional.

Finalmente, é preciso registrar alguns fatores que limitaram esta pesquisa. Em primeiro lugar, o período de tempo transcorrido entre o início da política do SisNANO e a criação do LCNano e a coleta de dados para análise em 2018 foi curto. Para resultados mais consistentes derivados da pesquisa em NT, como o seu estímulo para a relação universidade-empresa e o deslocamento de linhas de pesquisa impulsionados pela inter e multidisciplinaridade da N&N, 7 anos podem ainda ser insuficientes para que ocorra inovação a partir da agenda inicial da pesquisa básica e aplicada, com processos sustentáveis de transferência tecnológica.

Em segundo lugar, a análise da produção científica, em parte ficou limitada na obtenção dos resumos de cada produção publicada aos que estavam relacionados a um identificador digital DOI (do inglês *Digital Object Identifier*), e que estivessem disponíveis e pudessem ser obtidos nas bases da Scopus e Crossref. Por reduzir a quantidade de produções que puderam ser analisadas, em relação ao total de produção de todos os pesquisadores integrantes do LCNano, isto pode ter influenciado em não identificar a correta dimensão de todos os tópicos do modelo de análise. Por último, por questões de tempo reduzido e agenda, foi inviável entrevistar todos os 42 pesquisadores do laboratório, limitando-se a entrevistas com os líderes dos eixos verticais e transversais do LCNano e sua coordenação geral.

Este trabalho poderá, futuramente, ser estendido para um maior período de análise e considerar no estudo uma maior quantidade de produções científicas do objeto analisado de forma a obter dados de análise mais consistentes. Os estudos das redes de pesquisa e interdisciplinaridade da nanotecnologia podem ser otimizados considerando as relações entre as áreas de formação e especialidades dos coautores nas produções científicas, com os eixos transversais e verticais do LCNano e as áreas específicas da produção. A metodologia aqui aplicada tem sido cada vez mais utilizada em técnicas de mineração de textos e poderá ser usada para analisar outras questões da pesquisa na UFPR e em outras universidades, dado a amplitude e facilidades oferecidas pelo modelo utilizado.

REFERÊNCIAS

AAS, AUSTRALIAN ACADEMY OF SCIENCE. **National Nanotechnology Research Strategy**. ISBN: 978 0 85847 339 3, Camberra, Austrália, 2012.

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama nanotecnologia**, Série Cadernos da Indústria ABDI, Volume XIX, ABDI, Brasília, 2010.

ABRAMOVITZ, M. **Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind**. The Journal of Economic History, nº 46: 385–406, 1986.

ADAMS, J.D.; CHIANG, E.P.; JENSEN, J.L. **The influence of federal laboratory R&D on industrial research**. Review of Economics and Statistics, nº 85(4): 1003–20, 2003.

AGUIAR, A.C. **Redes cooperativas de pesquisa**. In: ENCONTRO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 25, 2001, Campinas-SP. Anais... Campinas, SP: Anpad, 2001. CD-ROM.

ARRUDA, M.; VERMULM, R.; HOLLANDA, S. **Inovação tecnológica no Brasil: A indústria em busca da competitividade global**. São Paulo: ANPEI. 2006.

AUDY, J.L.N. **Entre a Tradição e a Renovação: os desafios da Universidade Empreendedora**. In: AUDY e MOROSINI (orgs.), Inovação e Empreendedorismo na Universidade. EDIPUCRS, 2006.

BAGATTOLLI, C. **Política Científica e Tecnológica no Brasil: Mitos e modelos num país periférico**. Tese de Doutorado. Campinas: IE/Unicamp. 2013.

BARBOSA, T.C. **Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil: Trajetórias e Empresas Beneficiadas**. Dissertação Pós-Graduação. Universidade Federal do Paraná. 2017.

BASTOS, V.D. **Fundos Públicos para Ciência e Tecnologia**. Revista do BNDES, v. 10, n. 20. 2003.

BATTARD, N. **Convergence and multidisciplinary in Nanotechnology: Laboratories as technological hubs**. Technovation, nº 32:234-244, DOI: 10.1016/j.technovation. 2011.09.001, 2012.

BAUMGARTEN, M. **Conhecimento e sustentabilidade: políticas de ciência, tecnologia e inovação no Brasil contemporâneo**. Porto Alegre: UFRGS / Sulina, 2008.

BEAUDRY, C.; ALLAOUI, S. **Impact of Public and Private Research Funding on Scientific Production: The Case of Nanotechnology**. *Research Policy* 41, nº 9: 1589–1606. doi:10.1016/j.respol.2012.03.022, 2012.

BERNI, J. C. A; GOMES, C.M.; PERLIN, A.P.; KNEIP, J.N.; FRIZZO, K. **Interação universidade-empresa para a inovação e a transferência de tecnologia**. Revista GUAL, Florianopolis, v. 8, n. 2, p. 258-277, maio 2015.

BCC Research. **Nanotechnology: A Realistic Market Assessment**. Business Communications Company (BCC) Inc., Wellesley, MA, USA, 2014.

BLUME-KOHOUT, M.; KUMAR, K.; SOOD, N. **Federal life sciences funding and university R&D**. NBER Working Paper nº 15146, 2009.

BOYD-GRABER, J.; HU, Y.; MIMNO, D. **Applications of Topic Models. Foundations and Trends R in Information Retrieval**. Now publishers Inc – The essence of knowledge, vol. XX, nº XX, pp. 1–154, 2017.

BOZEMAN, B.; DIETZ, J.; GAUGHAN, M. **Scientific and technical human capital: an alternative model for research evaluation**. International Journal of Technology Management, nº 22 (7/8). 2001.

BRASIL – Governo Federal do Brasil. Lei 1.310/51 de 15 de janeiro de 1951. Publicado no DOU de 29.12.1950. **Cria o Conselho Nacional de pesquisas, e dá outras providências**, 1951.

_____. Decreto nº 29.741/51 de 11 de julho de 1951. Publicado no DOU de 13.7.1951. **Institui uma Comissão para promover a Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de pessoal de nível superior**. Art. 2, 1951.

_____. Decreto nº 55.820/65. De 8 de março de 1965. Publicado no DOU de 9.3.1965. **Cria o Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas-FINEP e dá outras providências**, 1965.

_____. Decreto nº 61.056/67 de 24 de julho de 1967. Publicado no DOU de 25.07.1967. **Constituída a Empresa Pública denominada Financiadora de Estudos de Projetos S.A. (FINEP)**, 1967.

_____. Lei nº 5.727, de 04/11/1971. Publicado no DOU de 17.11.1971. Dispõe sobre o Primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento para o período de 1972 a 1974 - (PND), 1971.

_____. Decreto nº 72.527/73. De 25 de julho de 1973. Publicado no DOU de 26.7.1973. **Aprova o Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-PBDCT, para o biênio 1973/1974**, 1973.

_____. Decreto nº 75.225/75 de 15 de janeiro de 1975. Publicado no DOU de 16.1.1975. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e dá outras providências**, 1975.

_____. Lei nº 8.172/91 de 18 de janeiro de 1991. Publicado no DOU de 22.1.1991. **Restabelece o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, 1991.

_____. Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997. Publicado no DOU de 7.8.1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, mas atividades relativas ao monopólio do petróleo institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo**, 1997

_____. Decreto nº 2.705 de 3 de agosto de 1998. Publicado no DOU de 4.8.1998. **Define critérios para cálculo e cobrança das participações governamentais de que trata a Lei nº 9.478**, de 6 de agosto de 1997, aplicáveis às atividades de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, e dá outras providências, 1998.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia: **Plano Plurianual 2000-2003**. Brasília, DF: O Ministério, 2000.

_____. Edital Nano nº 01/2001. **Redes de Pesquisa em Nanotecnologia**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CNPq Memória, 2001.

_____. Lei nº 8.661/93 de 2 de junho de 1993. Publicado no DOU de 3.6.1993. **Dispõe sobre incentivos fiscais para a capacitação tecnológica**. Revogada pela Lei nº 11.196/05, 1993.

_____. Lei nº 10.973/04 de 2 de dezembro de 2004. Publicado no DOU de 3 de dezembro de 2004 e retificado em 16.5.2005. **Estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação tecnológica, ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional do País, nos termos dos artigos**, 2004.

_____. Lei nº. 11.196/05 de 21 de novembro de 2005. Publicado no DOU de 22.11.2005. **Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação - REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital**, 2005.

_____. Portaria Interministerial nº Portaria nº 245 de 5 de abril de 2012. Publicada no DOU de 09.04.2012. **Institui o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias – SisNANO**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2012.

_____. Portaria Interministerial nº 510, de 9 de julho de 2012. **Institui o Comitê Interministerial de Nanotecnologias – CIN**. Publicada no DOU de 10/07/2012. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2012.

_____. Lei nº. 13.243/16 de 11 de janeiro de 2016. Publicado no DOU de 12.1.2016. **Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação**, 2016.

_____. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Cartilha Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras**. Brasília: MCTI, 2016.

_____. MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e Comunicação, **Programa Nacional de Nanotecnologia**, 2018.

BROUSSEAU, E.; GLACHANT, J.M. **Governance, regulations and powers on the internet**. Cambridge. DOI: 9781139004145, Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

BRUNE, H.; ERNST, H.; GRUNWALD, A.; GRUNWALD, W.; HOFMANN, H.; KRUG, H.; JANICH, P.; MAYOR, M.; RATHGEBER, W.; SCHMID, G.; SIMON, U.; VOGEL, V.; WYRWA, D. **Nanotechnology: assessment and perspectives**. Dordrecht: Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2006.

CASTELLS, M.S. **A sociedade em rede**. A era da informação: economia, sociedade e cultura. 6^a. ed. São Paulo: Paz e Terra, v 1, 2002.

CEC, COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009**. European Union, Brussels, 2005.

CEU, COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Horizon 2020 - the Framework Programme for Research and Innovation (2014-2020)**. European Parliament, Official Journal of the European Union, Brussels, EU, 2013.

CGTC. Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Entrevista realizada com o Coordenador Geral**, Brasília, DF, 2017.

CHAGAS, P.B.; ICHIKAWA, E.Y. **Redes em C&T em institutos públicos de pesquisa brasileiros: o caso do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR)**. rap — Rio de Janeiro 43(1): 93-121, JAN./FEV. 2008.

CHARRIÈRE, A.; DUNNING, B. **Timeline: Nanotechnology Policy and Regulation in Canada, Australia, the European Union, the United Kingdom, and the United States**. Institute for Science, Society and Policy, Ottawa, Canada, 2014.

CHESBROUGH, H. **Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology**. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

CHIARELLO, M.D. **As plataformas tecnológicas e a promoção de parcerias para a inovação**. Revista Parecerias Estratégicas, n.8. 2000.

CHIARINI, T.; VIEIRA, K. P. **Universidades como produtoras de conhecimento para o desenvolvimento econômico: sistema superior de ensino e as políticas de CT&I**. Revista Brasileira de Economia, v. 66, n. 1, p. 117-132, 2012.

CHRISTAKIS, N.A.; FOWLER, J.H. **O poder das conexões: connected**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CIENTIFICA. **Global Funding of Nanotechnologies & its Impact**. Cientifica LTd. 69B, Brushfield St. London, E1 6AA, UK, July 2011.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Dimensões estratégicas do desenvolvimento brasileiro**. Continuidade e mudança no cenário global: desafios à inserção do Brasil, v5, Brasília, DF, 2016.

_____. **A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia.** Parcerias Estratégicas - Número 18 - Agosto, Brasília-DF, 2004.

CLARC, B. **Creating Entrepreneurial Universities.** Oxford: IAU Press-Elsevier, 2003.

_____. **Em Busca da Universidade Empreendedora,** IN: MOROSINI, (org.), Inovação e Empreendedorismo na Universidade. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

CLOSS, L.Q.; FERREIRA, G.C. **Transferência de Tecnologia Universidade empresa: uma revisão das publicações científicas brasileiras no período 2005-2009.** XXXIV Encontro da ANPAD –EnANPAD. 2010.

_____. **A transferência de tecnologia universidade-empresa no contexto brasileiro: uma revisão de estudos científicos publicados entre os anos de 2005 e 2009.** Pós-graduação em Administração-Faculdade de Administração Contabilidade e Economia – FACE, Gest. Prod. São Carlos, v. 19, n. 2. 2012.

COHEN, W.M.; NELSON, R.R.; WALSH, J.P. **Links and impacts: the influence of public research on industrial R&D.** Management Science, 48, nº 1, 1-23, ISSN 1526-5501, 2002.

COOKE, P.; URANGA, M.G.; ETXEBARRIA, G. **Regional innovation systems: Institutional and organizational dimensions.** Research Policy, nº 26 (4-5): 475-491, 1997.

CROSSREF – **Official Digital Object Identifier Registration Agency of the International DOI Foundation.** Disponível em: <https://www.crossref.org>. Crossref is registered as Publishers International Linking Association, Inc. (PILA) in New York, USA, 2019.

DAGNINO, R. **A pesquisa científica e tecnológica na universidade brasileira: balanço e perspectivas.** In: Herrera, A. (org). Ciência tecnologia e desenvolvimento 2. Brasília: CNPq/UNESCO, 1983.

DALPE, R.; ANDERSON, F. **Evaluating the Industrial Relevance of R&D Laboratories,** In: Bozeman, B. and Melkers, J. (eds) Evaluating R&D Impacts: Methods and Practice, Springer, Boston, MA, 1993.

DE NEGRI, J.A.; LEMOS, M.B. **Avaliação das Políticas de Incentivo à P&D e Inovação Tecnológica no Brasil,** DISET/IPEA, Brasília, DF, 2009.

DGRI – **DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION. Seventh FP7 Monitoring Report: monitoring report 2013.** European Union, Luxembourg, EU, ISBN 978-92-79-46323-5, 2015.

DIAS, R.B. **A Trajetória da Política Científica e Tecnológica Brasileira: Um olhar a partir de análise de política.** Tese de Doutorado. Campinas: IE/Unicamp. 2009.

_____. DIAS, R. B. **Sessenta anos de política científica e tecnológica no Brasil.** ISBN: 978-85-268-0993-2, Editora Unicamp. 2012.

DIGIAMPIETRI, L.A.; MENA-CHALCO, J.P.; PÉREZ-ALCÁZARr, J.J.; TUESTA, E. F.; DELGADO, K.V.; MUGNAINI, R.; Silva, G.S. **Dinâmica das relações de coautoria nos programas de pós-graduação em computação no Brasil**. 2012 Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining, 2012.

DONALDSON, L. **Teoria da contingência estrutural**. In: S. R. Clegg, C. Hardy, & W. R. Nord (Orgs.). *Handbook de Estudos Organizacionais*, (Vol. 1, pp. 104-131). São Paulo: Atlas, 2006.

DOSI, G. **The Nature of the Innovative Process**: In: Dosi, G; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, C.; & Soete, I. (eds). *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Pinter. 1988.

_____. **Mudança Técnica e Transformação Industrial: A Teoria e uma aplicação à Indústria dos Semicondutores**. Tradutor: Carlos D. Szlak. - Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2006.

DUDZIAK, E.A. **Topic Prominence in Science: World, Brazil and Universidade de Sao Paulo - USP** - July 2018. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1303328>, 2018.

DURÁN, N.; MATTOSO, L.H.C.; DE MORAIS, P.C. **Nanotecnologia introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artlier, 2006.

EDQUIST, C. **Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**. Frances Pinter, London, 1997.

_____. **Design of innovation policy through diagnostic analysis: identification of systemic problems (or failures)**. *Industrial and Corporate Change*, 11, 2011.

ENTREVISTAS. **Entrevistas realizadas pelo autor com a coordenação e com os líderes dos eixos verticais e transversais do LCNano**. Período de dezembro de 2018 a março de 2019. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2019.

ETZKOWITZ, H. **The evolution of the entrepreneurial university**. *International Journal Technology and Globalization*, v. 1, p. 64-77, 2004.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. **The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university – industry – government relations**. *Research Policy*, n. 29, p. 109-123, 2000.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. **Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo**. *Estudos Avançados. Estud. av.* vol. 31. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190003>. São Paulo: may/Aug. 2017.

FABIANI, S; SBRAGIA, P. **Tax Incentives for Technological Business Innovation in Brazil: The Use of the Good Law - Lei do Bem (Law No. 11196/2005)**. *Journal of Technology Management & Innovation*, ISSN: 0718-2724, v. 9, n. 4, Universidad Alberto Hurtado, Chile, 2014.

FACHONE, P.C.V.; VELHO, L.M.L. S. **Novas abordagens de produção de conhecimento: think tanks e a produção e uso de ciência para o desenvolvimento da segurança pública.** REBESP, Goiânia, v. 6 n. 1, p. 42-55, 2014.

FAGAN, S.B. **A arte de montar matéria, átomo por átomo.** Ceará, 2004. Disponível em: <http://www.fisica.ufc.br/solange/nanotech.html>. Acesso em: 12/10/2018.

FERRARI, A.F. **O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT - e a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP.** Revista Brasileira de Inovação, vol. 1, nº 1. 2002.

FERNANDES, M.F.M; FILGUEIRAS, C.A.L. **Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro desafios).** Química Nova, v. 31, n.8, 2008.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Manual de Oslo – Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação.** Traduzido em 2004, do original publicado pela OECD, 1997, sob a responsabilidade da FINEP, 2004.

FISHER, E.; SELIN, C.; WETMORE, J.M. (Ed.). **The Year book of Nanotechnology in Society.** Volume 1: Presenting the Future. Springer. 2011.

FOLADORI, G.; FIGUEROA, S.; EDGARD, Z.L.; INVERNIZZI, N. **Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina.** Sociologias, Porto Alegre, ano 14, nº 30, mai/ago: 330-363, 2012.

FORTUNATO, E. **As metas da nanotecnologia: aplicações e implicações.** Centro de Investigação de Materiais. Departamento de Ciências dos Materiais, Universidade Nova de Lisboa-FCT, 2005. Disponível em: http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/867F4EEBA73f-4966-AA78-051e912CC2D65/0/PNIinovacao_Nanotecnologia.pdf. Acesso em: 10/10/2018.

FREEMAN, C. **Technology policy and performance.** London, UK: Science Policy Research Unit, University of Sussex, Pinter Publishers, 1987.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crises of adjustment business cycles and investment behavior.** In: DOZI, G. et al Thechnical change and economic theory. Londres: Pinter, 1988.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **A Economia da Inovação Industrial.** Tradução André Luiz Sica de Campos e Janaina Oliveira Pamplona da Costa – Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

FREEMAN, R.B.; VAN REENEN, J. **What if congress doubled R&D spending on the physical sciences?** CEP Discussion Papers, 931, Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political Science, London, UK, 2009.

FRIEDMAN, J. ; SILBERMAN, J. **University techonology transfer: do incentives, management and location matter?.** Journal of techonology transfer, Indianapolis, v.28

n.1, 2003.

FUCK, M.P.A. **Co-Evolução Tecnológica e Institucional na Organização da Pesquisa Agrícola no Brasil e na Argentina**. Tese de Doutorado. Campinas: IE/Unicamp. 2009.

GERTNER, J. **The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation**. The Penguin Press, New York, USA, 2012.

GEUNA, A.; MUSCIO, A. **The governance of university knowledge transfer: A critical review of the literature**. *Minerva*, 47: 93-114, DOI: 10.1007/s11024-009-9118-2, 2009.

GIBBONS, M. **The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies**. London; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications, 1994.

GILL, I. S.; RAISER, M. **Golden Growth: Restoring the Lustre of the European Economic Model**. Washington: The World Bank, Washington-DC, USA, 2012.

GIMENEZ, D.M. **A questão social e os limites do projeto liberal no Brasil**. Tese de Doutorado. Campinas: IE/Unicamp. 2007.

GOLDFARB, B. **The effect of government contracting on academic research: does the source of funding affect scientific output?** *Research Policy* nº 37: 41-58, 2008.

GONÇALO, C.R; ZANLUCHI, J. **Relacionamento entre Empresa e Universidade: uma análise de cooperação em um setor intensivo em conhecimento**. BASE–Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos, julho/setembro. 2011.

GREAT BRITAIN. **Excellence and Opportunity: A Science and Innovation Policy for the 21st Century**, Department of Trade and Industry Staff, Stationery Office, UK, ISBN 9780101481427, 2000.

GUBBI, J.; BUYYAB, R.; MARUSI, S.; PALANISWAMIA, M. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. *Future generation computer systems*, ISSN 0167-739X, v.29, nº 7, p.1645-1660, 2013.

GUIMARÃES. M.K.; AZAMBUJA, L.R. **Empreendedorismo high-tech no Brasil: Condicionantes econômicos, políticos e culturais**. *Revista Sociedade e Estado*, v.25, n.1, Brasília-DF, Brasil, 2010.

HAAS, P.M. **Introduction: Epistemic Communities and International Policy Coordination**. *International Organization*, JSTOR, vol. 46, No. 1, pp.1-35, 1992.

HAGE, J. **Restoring the Innovative Edge: Driving the Evolution of Science and Technology**. Digital ISBN: 9780804777575, Stanford: Stanford University Press, USA, 2011.

HAGEDOORN, J.; SCHAKENRAAD, J. **Leading companies and networks of**

strategic alliances in information technologies. Research Policy, no 21, 163-190, ISSN 0048.7333, Elsevier Science Publishers B.V., 1992.

HERRERA, A. **O planejamento da ciência e tecnologia na América Latina: elementos para um novo marco de referência.** In: (org.). Ciência, tecnologia e desenvolvimento 2. Brasília: CNPq/UNESCO. 1983.

HODGE, G.; BOWMAN, D.; KARINNE, L. **New Global Frontiers in Regulation: The Age of Nanotechnology.** Monash Centre for Regulatory Studies. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham, UK, 2007.

HULLMANN, A. **Who is winning the global nanorace?** *Nature Nanotechnology* 1, nº 2: 81–83, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de inovação: 2011 / IBGE**, Nº de chamada: 311.21:338.45(81)-P474p, Coordenação de Indústria. – Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de inovação: 2014 / IBGE**, ISBN 978-85-240-4403-8, Coordenação de Indústria. – Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INVERNIZZI, N. **A Política Brasileira de Nanotecnologia: avanços e desafios para um Brasil mais igualitário.** International Seminar: “Innovation Policies and Structural Change in a Context of Growth and Crisis”, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

INVERNIZZI, N.; KORBES, C.; FUCK, P.M. **Política de nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes.** In: Foladori G, Záyago E, Invernizzi N (eds) *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. Miguel Ángel Porrúa, México, 2012.

IPIRANGA, A.; FREITAS, A.; PAIVA, T. **O empreendedorismo acadêmico no contexto da interação universidade, empresa governo.** Cadernos ABAPE, v. 8 n.4. Rio de Janeiro, Dez, 2010.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Avanços e desafios da transversalidade nas políticas públicas federais voltadas para minorias.** In: Brasil em Desenvolvimento: Estado, planejamento e políticas públicas, vol. 3. Brasília: IPEA, 2009.

JACOB, B.A.; LEFGREN, L. **The impact of research grant funding on scientific productivity.** Journal of Public Economics, nº 9: 1168-1177, Elsevier B.V., 2011.

JORDAN, C.C.; KAISER, N.; MOORE, V.C. **Nanotechnology Patent Survey: Who Will Be the Leaders in the Fifth Technology Revolution?** Nanotechnology Law & Business, v.9, nº 122: 122-132, 2012.

JUNG, H.J.; LEE, J. **The impacts of science and technology policy interventions on university research: Evidence from the U.S. National Nanotechnology Initiative.** Research Policy, nº 43(1):74–91, 2014.

KAY L.; SHAPIRA, P. **Developing nanotechnology in Latin America**. Journal of Nanoparticle Research. nº 11(2):259–78, 2009.

KELLER; R.M.; BLOCK, F.; NEGOITA, M. **Como se dá a inovação dentro do Estado Desenvolvimentista em Rede? Novos dados sobre acordos público-privados em um laboratório do Departamento de Energia dos Estados Unidos**. Sociologias, Porto Alegre, ano 19, nº46, set/dez. 2017.

KOSTOFF, R.N. **China/USA Nanotechnology Research Output comparison—2011 Update**. *Technological Forecasting and Social Change* 79, nº 5: 986–90. doi:10.1016/j.techfore.2012.01.007, 2012.

KREUCHAFF, F.; TEICHERT, N. Nanotechnology as general purpose technology. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Working Paper Series in Economics No. 53, ISSN 2190-9806, Karlsruhe, Germany, 2014.

LATTES – Plataforma Lattes/CNPq. **Bases de dados de Currículos, de Grupos de pesquisa e de Instituições**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Disponível em <http://lattes.cnpq.br>, 2019.

LEE, I.; LEE, K. **The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises**. Business Horizons, Kelley School of Business, Indiana University. Published by Elsevier Inc., v. 58, p. 431-440, 2015.

LEVY, R.; ROUX, P.; WOLFF, S. **An analysis of science-industry collaborative patterns in large European University**. Journal of Technology Transfer, v. 25, 2009.

LIBAERS, D.; MEYER, M.; GEUNA, A. **The role of university spinout companies in a emerging technology: The case of Nanotechnology**. Journal of Technology Transfer, nº 31: 443-450, 2006.

LCNANO – Laboratório Central de Nanotecnologia da UFPR. **Relatório Técnico 2004-2018**. Coordenação Geral LCNano, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2018.

LI, X.; HU, D.; DANG, Y.; CHEN, H.; ROCO, M.C.; LARSON, C.A.; CHAN, J. **Nano Mapper: An Internet Knowledge Mapping System for Nanotechnology Development**. *Journal of Nanoparticle Research* 11, nº 3: 529–52. doi:10.1007/s11051-008-9491-z, 2009.

LIMA, P.G. **Política científica e tecnológica: países desenvolvidos, América Latina e Brasil**. Dourados, MS: Editora da UFGD. 2009.

LONGO, W.P.; OLIVEIRA, A.R.P. **Pesquisa cooperativa e centros de excelência**. Parcerias Estratégicas, Brasília, DF, n. 9, 2000.

LUBIK, S.; GARNSEY, E. **Commercializing nanotechnology innovations from university spin-out companies**. Nanotechnology Perceptions nº 4: 225–238, Collegium Basilea, 2008.

LUX Research. **Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-enabled Products Increase**. State of the Market Report. Boston, USA, 2014.

MACULAN, A.M. Prefácio. In: ZOUAIN, D. M. **Gestão de instituições de pesquisa**. Rio de Janeiro: FGV, 2001.

MALERBA, F. **Sectorial Systems of Innovation: Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2004.

MANGEMATIN, V.; ERRABI, K.; GAUTHIER, C. **Large Players in the Nanogame: Dedicated Nanotech Subsidiaries or Distributed Nanotech Capabilities?** *The Journal of Technology Transfer* 36, nº 6: 640–64. doi:10.1007/s10961-011-9209-8, 2011.

MATIAS-PEREIRA, J.; KRUGLIANSKAS, I. **Gestão de Inovação Tecnológica como Ferramenta de Apoio às Políticas Industrial e Tecnológica do Brasil**. Revista RAE - eletrônica, v. 4, n. 2, Art. 18, jul./Dez, 2005.

MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor: Desmascarando mito do setor público versus setor privado**. Ed. Schwarcz, 2014.

_____. **Mission-Oriented Innovation Policy: Challenges and Opportunities**. UCL Institute for Innovation and Public Purpose Working Paper, London, UK, 2017.

MENA-CHALCO, J. P.; CESAR-JR, R. M. ScriptLattes: **An open-source knowledge extraction system from the Lattes platform**. Journal of the Brazilian Computer Society, vol. 15, n. 4, páginas 31--39, 2009.

MERZ, M.; BINIOK, P. **How technological platforms reconfigure Science-industry relations: The case of micro- and Nanotechnology**. Minerva, nº 48: 105-124, DOI: 10.1007/s11024-010-9146-y, 2010.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil, Governo Federal, Brasília-DF, 2012.

_____. MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e INOVAÇÃO. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: 2012-2015 e Balanço das atividades estruturantes 2011**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil, Brasília-DF, 2012a.

MCTIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022 - Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Econômico e Social**. Governo Federal, Brasília, DF, 2016.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Indicadores Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação**. ISSN 1413-3148, Coordenação de Indicadores e Informação, Brasília, DF, 2018.

MOCELIN, D.G. **Concorrência e aliança entre pesquisadores: reflexões acerca da expansão de grupos de pesquisa dos anos 1990 aos 2000 no Brasil**. Revista Brasileira da Pós-Graduação, Brasília, v. 6, n. 11, p. 35 - 64, dez. 2009.

MONTEIRO, A.V.A. **A dinâmica de mudanças estratégicas: estudos de multicasos em institutos de pesquisa**. (Tese). UFSC. 1999.

MOTOYAMA, S.; NAGAMINI, M.; QUEIROZ, F.A.; VARGAS, M.; ALBUQUERQUE, R. **“1964 – 1985: sob o signo do desenvolvimentismo”**. In: MOTOYAMA, S. (org.) (2004) **Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual de São Paulo. 2004.

MOTOYAMA, S. **“1930 – 1964: período desenvolvimentista”**. In: MOTOYAMA, S. (org.) (2004) **Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual de São Paulo. 2004.

MOWERY, D.C. **Nanotechnology and the US National Innovation System: Continuity and Change**. The Journal of Technology Transfer 36, n° 6: 697–711. doi:10.1007/s10961-011-9210-2, 2011.

MOWERY, D.C.; ROSENBERG, N. **Trajetórias da Inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no Século XX**. Editora da Unicamp, Campinas/SP, 2005.

MOWERY, D.C.; NELSON, R.; SAMPAT, B.N.; ZIEDONIS, A.A. **The growth of patenting and licensing by U.S. universities: An assessment of the effects of the Bayh-Dole act of 1980**. Research Policy, n° 30(1): 99-119, 2001.

NELSON, R.; ROSENBERG, N. **Technical innovation and national systems**. In R. Nelson, **National innovation systems: A Comparative Analysis**. New York and Oxford University Press, Oxford, 1993.

NEWMAN, M.E.J. **The structure of scientific networks collaboration**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Santa Fe, v. 98, n. 2, p. 404-409, jan. 2001.

NNI - THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **Annual Report for the National Nanotechnology Initiative**. Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology. United States Government, USA, 2017.

NOBLE, D.F. **Forces of production: a social history of industrial automation**. New Brunswick, N.J, Transaction Publishers, n° 409, 2011.

NOVELI, M.; SEGATTO, A.P. **Processo de cooperação Universidade-Empresa para a inovação tecnológica em um parque tecnológico: evidências empíricas e proposição de um modelo conceitual**. Revista de Administração e Inovação, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 81-105, 2012.

NOWOTNY, H.; SCOTT, P.; GIBBONS, M. **Re-thinking science: knowledge and the public in a age of uncertainty**,. Cambridge: Polity Press. 2001.

NSTC – National Science and Technology Council. **The National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan**. National Nanotechnology Coordination Office. U.S. Government, USA, 2004.

_____. **Supplement to the President's Budget for Fiscal Year 2018**. Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology, Committee on Technology, National Nanotechnology Coordination Office. U.S. Government, USA, 2018.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. **Policy Environments and Governance for Innovation and Sustainable Growth Through Nanotechnology**. Committee for Scientific and Technological Policy. Paris, France, 2015.

_____. **Manuel de Frascati 2002: Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental**. OCDE Todos os direitos reservados. © 2013 F-INICIATIVAS P+D+I para a edição em Português do Brasil - Manual de Frascati: Metodologia proposta para levantamentos sobre pesquisa e desenvolvimento experimental, 2013.

OLIVEIRA, L.J.R. **Incubadoras universitárias de empresas e de cooperativas: contrastes e desafios**. Dissertação de Mestrado. Campinas: IG/UNICAMP. 2003.

OLIVEIRA, M.R.A.; GIROLETTI, D.A. **Integração entre Universidade e Empresa: Avaliação de Projeto Específico**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Revista Americana de Engenharia Industrial. Florianópolis, SC, Brasil, v.8, n. 16. 2016.

PACHECO, C.A. **As reformas da política nacional de ciência, tecnologia e inovação no Brasil (1999 - 2002)**. Santiago do Chile: CEPAL. 2003.

PALMBERG, C. **The transfer and commercialisation of nanotechnology: a comparative analysis of university and company researchers**. The Journal of Technology Transfer, nº33 (6):631–52, 2008.

PARKER, D. P.; ZILBERMAN, D. **University Technology Transfers: Impacts on Local and U.S. Economies** Contemporary Policy Issues. V. 11. 1993.

PAYNE, A.A.; SIOW, A. **Does federal research funding increase university research output?** Advances in Economic Analysis & Policy, vol. 3, 1-22, 2003.

PEREZ, C. **Techological revolutions and tecno-economic paradigms**. Cambridge Journal of Economics, 2010, 34, 185-202 doi:10.1093/cje/bep051. Advance Acces publication 15 September, 2009.

PLENTZ; F.; FAZZIO, A. **Considerações sobre o Programa Brasileiro de Nanotecnologia**. Ciência e Cultura. Cienc. Cult. vol.65 nº 3. São Paulo: July, 2013.

PONOMARIOV, B. **Government-sponsored university-industry collaboration and the production of nanotechnology patents in US universities.** The Journal of Technology Transfer, n° 38(6):749–67, 2013.

RAMELLA, F. **Empresas, inovação e território na alta tecnologia: o caso da Itália.** Sociologias. Porto Alegre, ano 19 n° 46 set/dez. 2017.

ROBINSON, D.K.R.; RIP, A.; MANGEMATIN, V. **Technological Agglomeration and the Emergence of Clusters and Networks in Nanotechnology.** Research Policy 36, n° 6: 871–79. doi:10.1016/j.respol.2007.02.003, 2007.

ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S.; Bruce TONN, B.; WHITESIDES, G. **Convergence of Knowledge, Technology and Society Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies.** Springer International Publishing Switzerland, ISBN978-3-319-02204-8, 2014.

ROMIG, A.D.; BAKER, A.B.; JOHANNES, J.; ZIPPERIAN, T.; EIJKEL, K.; KIRCHHOFF, B.; MANI, H.S.; RAO, C.N.R.; WALSH, S. **An Introduction to Nanotechnology Policy: Opportunities and Constraints for Emerging and Established Economies.** Technological Forecasting and Social Change 74, n° 9: 1634–42. doi:10.1016/j.techfore.2007.04.003, 2007.

ROSENBLOOM, J.L. **The geography of innovation commercialization in the United States during the 1990s.** Economic development Quaterly, n° 21(1): 3-16, 2007.

ROSENBLOOM, J.L.; GINTHER, D.K.; JUHL, T.; HEPPERT, J. **The Effects of Research & Development Funding on Scientific Productivity: Academic Chemistry, 1990-2009.** PLoS ONE n° 10(9): e0138176, doi:10.1371/journal.pone.0138176, Northwestern University, USA, 2015.

SÁ, C.M. **Redefining university roles in regional economies: a case study of university–industry relations and academic organization in nanotechnology.** Higher Education, n° 61(2):193–208, 2011.

SALLES-FILHO, S.L.M.; ALBUQUERQUE, R.; SZMRECSÁNYI, T.; BONACELLI, M. B.; et al. **Ciência, Tecnologia e Inovação: a reorganização da pesquisa pública no Brasil.** Campinas: Komedi Publisher. 2000.

SALLES-FILHO, S.L.M. **Política científica e tecnológica no III PBDCT (1980-85).** Revista Brasileira de Inovação, vol. 2, n° 2. 2003.

SANT'ANA, R.B. **O trabalho em redes e grupos de colaboração em pesquisa: desafios contemporâneos.** Perspectiva, Florianópolis v. 33, n. 3 set/dez 2015.

SANTANA, E.E.P.; PORTO, G.S. **E Agora, o que Fazer com Essa Tecnologia? Um Estudo Multicaso sobre as Possibilidades de Transferência de Tecnologia na USP-RP.** RAC, Curitiba, v. 13, n. 3, art. 4, Jul/Ago 2009.

SANTOS JUNIOR, J.L. **Ciência do futuro e futuro da Ciência: redes e políticas de nanociência e nanotecnologia no Brasil.** Rio de Janeiro: EdUERJ. 2013.

SANTOS, S.M. **Política nacional de ciência e tecnologia e seu reflexo sobre a capacitação tecnológica das empresas brasileiras**. Ensaios FEE, Porto Alegre, v.22, n.1, p.161-186, 2001.

SBRAGIA, R.; STAL, E.; CAMPANÁRIO, M.; ANDREASSI, T. (Coord.). **Inovação: como vencer esse desafio empresarial**. São Paulo: Clio, 2006.

SCOTT, William R. **Institutions and organizations: ideas and interests**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2008.

SCHUMPETER, J. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. Abril Cultural, São Paulo, 1982.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Original published by World Economic Forum, ISBN 978-1-5247-5887-5, Geneva, Switzerland, 2017.

SCHWARTZMAN, S.; KRIEGER, E.; GALEMBECK, F.; GUIMARÃES, E.A.; BERTERO, C.O. **Ciência e tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo global** In: SCHWARTZMAN, S. (coord.). **Ciência e Tecnologia no Brasil: Política Industrial, Mercado de Trabalho e Instituições de Apoio**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas. 1995.

SCOPUS – Elsevier’s abstract and citation database. Disponível em: <https://www.scopus.com>. Copyright © 2019 Elsevier B.V, 2019.

SEBÁSTIAN, J. **Análisis de las redes de investigación de América Latina con la Unión Europea**. Recitec: Revista de Ciência e Tecnologia, Recife, v. 3, n. 2.1999.

SENADO – Senado Federal do Brasil. **Relatório Política pública promovida pela FINEP ao exercer as atividades estabelecidas na sua criação**. Comissão de Constituição e Justiça, documento lp-eu2018-06688, Brasília, DF, 2018.

SHAPIRA, P.; YOUTIE, J. **Emergence of Nanodistricts in the United States: Path Dependency or New Opportunities?** Economic Development Quarterly 22, nº 3: 187–99 doi: 10.1177/0891242408320968, 2008.

SHAPIRA, P.; YOUTIE, J.; KAY, L. **National Innovation Systems and the Globalization of Nanotechnology Innovation**. The Journal of Technology Transfer 36, nº 6: 587–604. doi:10.1007/s10961-011-9212-0, 2011.

SIEGEL, D.S.; WALDMAN, D.; LINK, A. **Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: An exploratory study**. Research Policy, nº 32(1): 27-48, 2003.

SIGA – Sistema Integrado de Gestão Acadêmica da UFPR. Universidade Federal do Paraná. Disponível em <https://siga.ufpr.br>, 2019.

SILVA, S.G.; MELO, L.C.P. (Coord.) **Tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira - Livro Verde**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. Academia Brasileira de Ciências, 2001.

SILGE, J.; ROBINSON, D. **Text Mining with R: A Tidy Approach**. ISBN 13: 9781491981658, O'Reilly Media, Inc., Boston, USA, 2017.

SISNANO – Sistema Nacional de Nanotecnologia. **Cadernos de Tecnologia SisNANO**, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Coordenação geral de Micro e Nanotecnologias, Brasília-DF, 2015.

SOUZA, J.H. **Avaliação de agências de fomento a P&D: o caso da FINEP**. Tese de Doutorado. Campinas: IG/UNICAMP. 2002.

SOUZA, M.P. **Da PCT à PCTI: A trajetória de institucionalização da política científica, tecnológica e de inovação no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Unicamp-SP. 2017.

STIMSON, H.L. **Diaries, XV, 20 (microfilm edition, reel 3)**, Manuscripts and Archives, Yale University Library, New Haven, Connecticut, 1945.

SZMRECSÁNYI, T. **Esboços de história econômica da ciência e da tecnologia**. In: SOARES, L. C. *Da revolução científica à Big (Business) Science*. São Paulo, Hucitec, 2001.

THEIS, I.M. **A economia política da inovação imperfeita**. Revista Política e Planejamento Regional (PPR), Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 103-120, jan./jun., 2014.

TRUCOLO, C.C.; DIGIAMPIETRI, L. A. **Análise de tendências da produção científica nacional na área de Ciência da Informação: estudo exploratório de mineração de textos**. AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento, ISSN 2237-826X, v. 3, n. 2, p. 87-94, dez. 2014.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **UNESCO Science Report: towards 2030**. Director-General for Natural Sciences, UNESCO, ISBN 978-92-3-100129-1, Imprimerie Centrale, Luxembourg, 2015.

VALLE, M.G.O. **O sistema nacional de inovação em biotecnologia no Brasil: possíveis cenários**. (tese) UNICAMP. 2005.

VELHO, L.; SAENZ, T.W. **R&D in the public and private sector in Brazil: complements or substitutes?** INTECH Discussion papers series, The United Nations University. 2002.

VISINTIN, F.; PITTINO, D. **Founding team composition and early performance of university—based spin-off companies**. Technovation, n° 34(1):31–43, 2014.

VOSVIEWER. **Constructing and visualizing bibliometric networks**. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands. Disponível em <http://www.vosviewer.com/download>, 2019.

WANG, J.; SHAPIRA, P. **Partnering with universities: a good choice for Nanotechnology star-up firms?** *Small Bus Economy*, n° 38:197-215. DOI: 10.1007/s11187-009-9248-9, 2009.

WARRANT, F. **Deploiement mondial de la R&D industrielle:facteur et garant de la globalisation de la technologie et de l'economie.** Bruxelles, CEE, 1991.

WATERS, J. **Global Research & Development (R&D) Expenditure on Nanotechnology**, in: *Managing the Risks from Nanotechnology (Paul Davis)*, Health and Safety Commission, Royal Society, London, UK, 2004.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution.** Global Challenge Insight Report. World Economic Forum, Cologny-Geneva, Switzerland, 2016.

ANEXO I – FIGURAS AMPLIADAS

Figura 20:

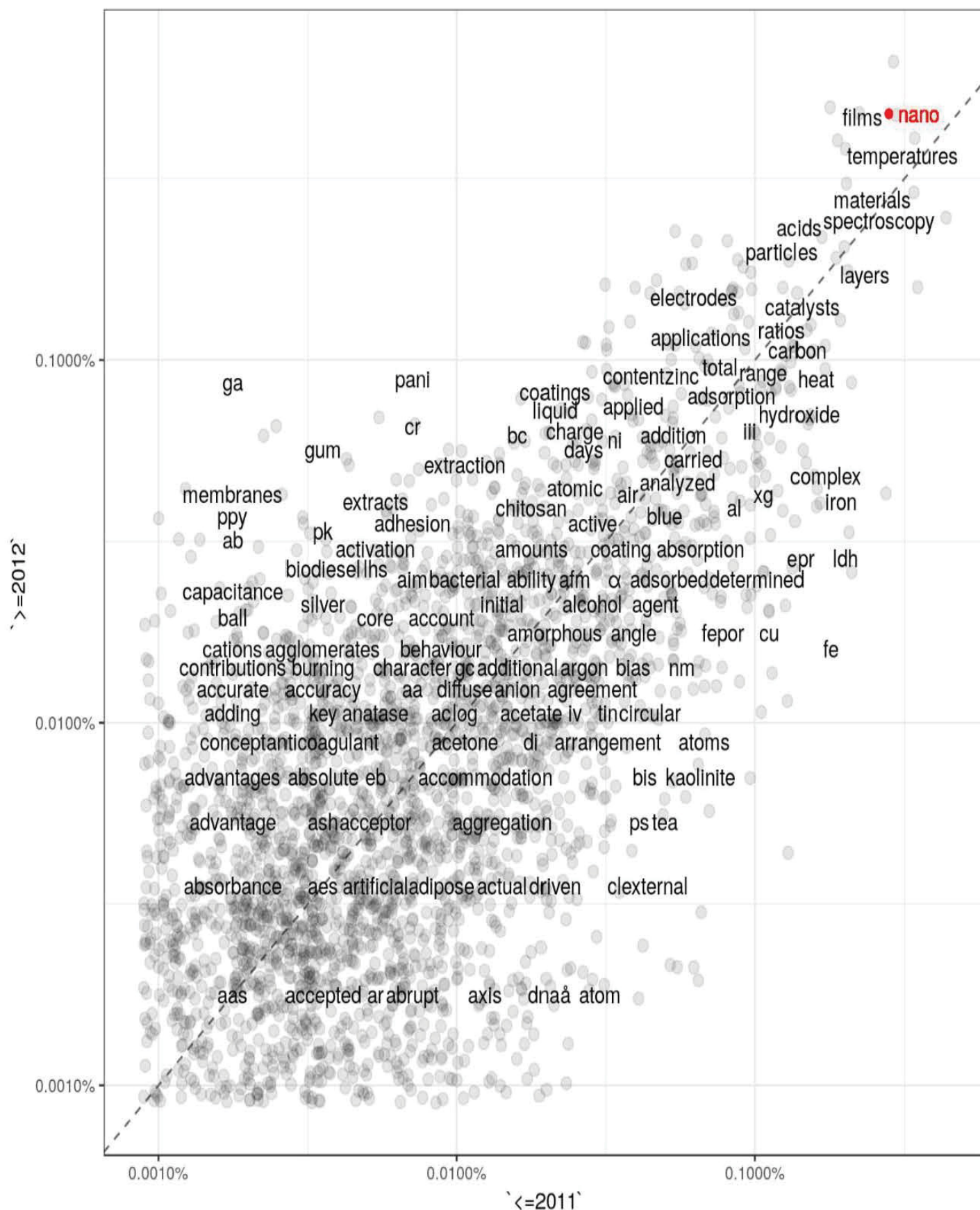


Figura 27:

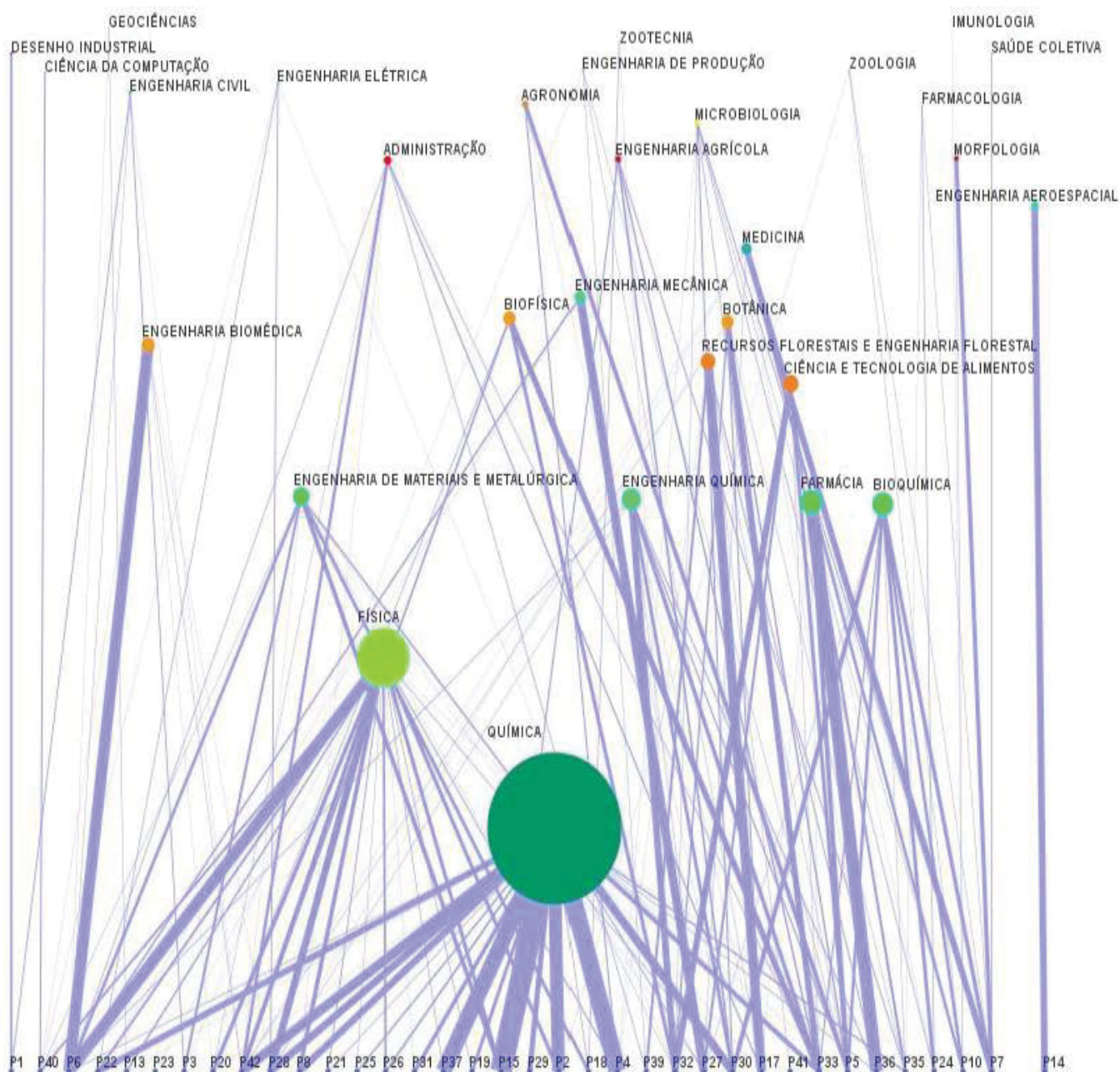


Figura 28:

